



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN EDIFICIO REHABILITADO (Study of thermal behavior in a rehabilitated building)

Autor

José Luis Puente de Mena

Director

Ignacio Zabalza Bribián

Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Noviembre 2022

RESUMEN

Se pretende llevar a cabo el estudio de la eficiencia energética de un edificio residencial cuantificando y analizando el impacto que supone la mejora del aislamiento térmico realizado. La recogida de datos será a través de la monitorización en tres viviendas del inmueble y las facturas de sus consumos de gas y electricidad.

Tras el estudio y análisis de los resultados obtenidos se compararán con los calculados mediante simulación y se diagnosticarán las causas de las posibles desviaciones.

ABSTRAT

The aim is to carry out the study of the energy efficiency of a residential building, quantifying and analyzing the impact of improving the thermal insulation carried out. The data collection will be through the monitoring of three homes in the property and the bills of their gas and electricity consumption.

After studying and analyzing the results obtained, they will be compared with those calculated by simulation and the causes of possible deviations will be detected.

Objetivo y alcance del trabajo

El presente trabajo fin de máster (en adelante TFM) pretende llevar a cabo el estudio de la eficiencia energética de un edificio residencial cuantificando y analizando el impacto que supone la mejora del aislamiento térmico realizado. La recogida de datos será a través de la monitorización en tres viviendas del inmueble y las facturas de sus consumos de gas y electricidad.

Tras el estudio y análisis de los resultados obtenidos, se compararán estos con los calculados mediante simulación y se diagnosticarán las causas de las posibles desviaciones.

Contextualización

Este TFM se realiza sobre un edificio rehabilitado dentro del programa de ayudas a la rehabilitación energética de edificios de vieja construcción llevado a cabo por el ayuntamiento de Zaragoza mediante la sociedad municipal Zaragoza Vivienda. En concreto la actuación se efectuó en el edificio situado en la Avda. Manuel Rodríguez Ayuso N.º 54 de Zaragoza.

Metodología

Para llevar a cabo los objetivos antes nombrados, se expondrán las soluciones arquitectónicas llevadas a cabo en la rehabilitación energética del edificio y la elección de las viviendas de muestra donde monitorizar consumos energéticos. Para el estudio de datos se va a utilizar la aplicación Grafana y la hoja de cálculo Excel. La cuantificación y evaluación de los consumos no monitorizados mediante sondas se realizará por medio de facturas de gas y electricidad recogidas antes y después de la rehabilitación del edificio. Se continuará exponiendo, detallando y analizando los datos y resultados obtenidos pasando a compararlos con los calculados por medio del programa HULC. Finalmente se diagnosticarán las causas de posibles desviaciones.

Cronograma. Fases del trabajo a realizar

Los pasos a seguir serán:

1. Descripción de las soluciones constructivas tomadas en la rehabilitación energética del inmueble.
2. Selección y características de las tres viviendas de muestra del inmueble objeto del estudio.
3. Recopilación de los datos monitorizados a través de sondas (temperatura, humedad y niveles CO₂) y facturas (consumos de gas y electricidad).
4. Interpretación, estudio, análisis y comparación de los datos obtenidos.
5. Nivel de eficiencia y ahorro energético alcanzados con los resultados obtenidos.
6. Comparación entre ahorros reales obtenidos y los calculados mediante el software HULC
7. Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones.

MEMORIA

INDICE DE CONTENIDOS

Objetivo y alcance del trabajo	3
Contextualización.....	3
Metodología.....	3
Cronograma. Fases del trabajo a realizar.....	3
INDICES	5
INDICE DE CONTENIDOS	5
Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	8
Índice de gráficas.....	10
Índice de termografías.....	10
Anexos.....	10
Hojas de cálculo.....	11
1. INTRODUCCION.....	12
1.1. Problemática de los edificios de vieja construcción. Planes de ayuda.....	12
1.2. Presentación y descripción del edificio.....	14
1.2.1. Recopilación de información.....	14
1.2.2. Edificio Avda. Rodríguez Ayuso.....	15
2. DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DEL INMUEBLE....	18
2.1. Estado inicial envolvente.....	18
2.2. Actuaciones llevadas a cabo en la rehabilitación energética del edificio.....	18
2.2.1. Fechas donde se llevaron a cabo las intervenciones.....	20
3. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TRES VIVIENDAS DEL INMUEBLE OBJETO DEL ESTUDIO.....	20
3.1. Selección y características de las viviendas monitorizadas.....	20
3.1.1. Selección.....	20
3.1.2. Etiquetado viviendas seleccionadas.....	21
1.1.1. VSR (4º-4ª).....	21
3.1.3. Fecha primera monitorización.....	22
3.1.4. Características. Perfil de ocupación del edificio y viviendas seleccionadas.....	22
3.1.5. Consumos ACS.....	22
3.1.6. Superficie viviendas monitorizadas.....	22
3.2. Perfil Social. Entrevistas y hábitos de consumo.....	23
3.2.1. Encuesta. Entrevistas.....	23
3.2.2. Datos y eventos sacados de las entrevistas. Hábitos de consumo.....	23
3.3. Perfil energético del edificio. Sistemas de climatización.....	24
3.3.1. Sistemas de calefacción y ACS.....	25

3.3.2.	Sistemas de refrigeración.....	25
4.	RECOPIACIÓN DE LOS DATOS MONITORIZADOS A TRAVÉS DE SONDAS Y FACTURAS	26
4.1.	Equipos de medida y monitorización	27
4.1.1.	Sistema de monitorización y ubicación en cada vivienda.....	27
4.2.	Recopilación de datos monitorizados. Grafana.....	28
4.2.1.	Etiquetado de datos en Grafana	28
4.3.	Facturas de consumos de gas y electricidad.....	29
4.3.1.	Facturas de consumos de gas natural.....	29
4.3.2.	Facturas de consumos eléctricos	30
5.	ANÁLISIS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	30
5.1.	Limitaciones en los análisis	31
5.2.	Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada.....	32
5.3.	Condiciones de confort térmico.....	32
5.4.	Comportamiento de las viviendas en la semana más fría (invierno 2021-22).....	33
5.5.	Análisis del comportamiento térmico de las viviendas ante un cambio brusco de temperatura exterior.....	34
5.5.1.	Descenso brusco de temperaturas en el exterior	34
5.6.	Análisis del comportamiento de viviendas en verano con y sin sistemas de refrigeración	35
5.7.	Análisis del comportamiento térmico de viviendas en días más cálidos (verano 2022)	36
5.8.	Análisis termográfico.....	37
5.8.1.	Termografías. Puentes térmicos	38
5.8.2.	Termografías. Comparaciones	39
5.9.	Consumos anuales de gas	40
5.9.1.	Consumo TOTAL de gas	41
5.9.2.	Consumo de gas para ACS.....	42
5.9.3.	Consumo de gas para calefacción	43
5.10.	Consumos anuales de electricidad.....	44
5.10.1.	Consumo TOTAL de electricidad	45
5.10.2.	Consumo de electricidad para refrigeración	47
5.10.3.	Consumo de electricidad para calefacción	48
5.11.	Emisiones anuales de CO2.....	48
5.11.1.	Emisiones anuales de CO2 por consumo de gas.....	49
5.11.2.	Emisiones anuales de CO2 debidas al ACS (gas).....	49
5.11.3.	Emisiones anuales de CO2 debidas a la calefacción (gas).....	50
5.11.4.	Emisiones anuales de CO2 por consumo eléctrico.....	50
5.11.5.	Emisiones anuales de CO2 por consumos de los sistemas de refrigeración (electricidad)..	50
5.12.	Efectos Pandemia y Guerra	51
5.12.1.	Consumo eléctrico. Pandemia	51
5.12.2.	Consumo de gas. Pandemia	52

5.12.3.	Consumo eléctrico. Guerra.....	52
5.12.4.	Consumo de gas. Guerra	53
6.	NIVEL DE EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO ALCANZADOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS	54
6.1.	Extrapolación de consumos viviendas monitorizadas a todo el edificio.....	54
6.1.1.	Criterios de clasificación de las viviendas del edificio y método de extrapolación	55
6.2.	Consumos energéticos anuales obtenidos en el edificio antes y después de su rehabilitación	55
6.2.1.	Consumos antes de rehabilitación.....	55
6.2.2.	Consumos tras rehabilitación	56
6.3.	Nivel de eficiencia y ahorro energético alcanzados	56
6.3.1.	Comparación consumos anuales desglosados por sistemas antes y después de rehabilitación energética	56
6.3.2.	Comparación consumos anuales desglosados por tipo de energía antes y después de rehabilitación energética.....	57
6.3.3.	Comparación valores de emisiones de CO ₂ anuales antes y después de Rehabilitación energética	57
6.4.	Limitaciones en resultados alcanzados	57
6.4.1.	Factores que validan los resultados obtenidos	57
6.4.2.	Factores que cuestionan los resultados obtenidos	57
7.	MODELIZACIÓN EN HULC DEL EDIFICIO Y RESULTADOS SIMULACIÓN	59
7.1.	Calificación energética del edificio sin rehabilitación.....	59
7.1.1.	Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación.....	59
7.1.2.	Calificación energética del edificio sin rehabilitación	60
7.2.	Resultados. Simulación Edificio tras rehabilitación	61
7.2.1.	Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación.....	61
7.2.2.	Calificación energética del edificio tras rehabilitación	61
7.3.	Resumen de resultados simulación antes y después de rehabilitación	62
8.	COMPARACIÓN ENTRE AHORROS REALES OBTENIDOS Y LOS CALCULADOS MEDIANTE EL SOFTWARE HULC.....	63
8.1.	Resultados ANUALES. Edificio	63
8.1.1.	Antes de Rehabilitación	63
8.1.2.	Tras Rehabilitación	63
8.2.	Comparativa anual. Edificio	64
8.3.	Comparación anual. Edificio.....	64
8.3.1.	Edificio sin rehabilitar.....	64
8.4.	Comparativa mensual. Edificio	66
8.4.1.	Comparación de consumos de energía final de calefacción y ACS	66
8.5.	Comparativa mensual. Consumos de GAS en Viviendas. Edificio rehabilitado	67
8.5.1.	Comparación de consumos por fuente energética. Gas	67
8.5.2.	Comparativa Emisiones de CO ₂ por fuente energética. Gas	67
8.5.3.	Resultados en edificio y viviendas seleccionadas tras rehabilitación.	68

9. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE LAS POSIBLES DESVIACIONES	69
9.1. Causas de las desviaciones observadas	69
9.1.1. Diferencias entre consumos y viviendas con sistemas de calefacción y ACS eléctricos	69
9.1.2. Caracterización fachadas y grosor de muros	69
9.1.3. Pobreza energética y ausencias prolongadas de los hogares.....	70
9.1.4. Diferencias respecto a espacios considerados	71
9.1.5. Caudal de ventilación	71
9.1.6. Suposiciones realizadas que restan precisión a los resultados	72
10. CONCLUSIONES	72
10.1.1. Resumen de incidencias y limitaciones en el desarrollo del trabajo.....	73
10.1.2. Recomendaciones.....	73
10.1.3. Futuras líneas de trabajo.....	74
11. REFERENCIAS	75

Índice de figuras

Figura 1 . Ubicación edificio.....	15
Figura 2 . Edificio Avda. Manuel Rodríguez Ayuso 54 antes de rehabilitación	16
Figura 3. Planos de viviendas en plantas primera y segunda a quinta	16
Figura 4. Fachada trasera en patio interior antes de rehabilitación.....	17
Figura 5. Composición de la envolvente de acuerdo a planos originales	18
Figura 6. Intervenciones realizadas.....	19
Figura 7. Situación viviendas monitorizadas en el edificio.	21
Figura 8. Radiadores en viviendas de muestra 1º-1ª, 3º-3ª y 5º-3ª	25
Figura 9. Sistemas de refrigeración viviendas 1º1ª, 2º1ª, 2º2ª, 4º1ª y 5º3ª,.....	25
Figura 10. Router y Gateway en piso P2 (3º-3ª)	27
Figura 11. Sensores ELSYS ERS en pisos primera planta P3 (1º-1ª), planta intermedia P1 (3º-3ª) y bajo cubierta P1 (5º-3ª)	27
Figura 12. Sensor exterior	28
Figura 13. Codificación de datos en Grafana	28
Figura 14. Facturas A y B de electricidad de la vivienda P2	54
Figura 15. Facturas A y B de gas de la vivienda P1	54
Figura 16. Modelización en HULC edificio.....	59
Figura 17. Pano original muro fachada y muro fachada artículo.....	70
Figura 18. Muro en doble ventana 1º-1ª	70
Figura 19. Planos originales y planos DXF	71

Índice de tablas

Tabla 1. Datos edificio.....	17
Tabla 2. Etiquetado y color viviendas de muestra, temperatura exterior y edificio.	21
Tabla 3. Etiquetado y color de periodos de análisis de consumos de energía	21
Tabla 4. Datos de ocupantes y consumos en cada vivienda del edificio	22
Tabla 5. Superficie de las viviendas monitorizadas.....	22

Tabla 6. Fuente energética Calefacción, ACS y Refrigeración.....	24
Tabla 7. Calderas de las viviendas monitorizadas y características técnicas.....	25
Tabla 8. Sistemas de refrigeración en viviendas monitorizadas y características técnicas.....	26
Tabla 9. Características sistemas de refrigeración viviendas.....	26
Tabla 10. Facturas de consumos de gas.....	29
Tabla 11. Facturas de consumos de electricidad.....	30
Tabla 12. Condiciones interiores de diseño.....	32
Tabla 13. Variación de temperaturas en la semana más fría.....	33
Tabla 14. Variación de temperaturas con y sin sistemas de refrigeración.....	35
Tabla 15. Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto.....	37
Tabla 16. Consumos de GAS facturados en periodos contemplados.....	40
Tabla 17. Consumos anuales (de julio a julio) de Gas y ahorros porcentuales en viviendas.....	41
Tabla 18. Consumos de gas anuales por m ² en viviendas.....	41
Tabla 19. Consumos de gas en ACS por vivienda.....	42
Tabla 20. Consumos de gas en calefacción en cada vivienda monitorizada.....	43
Tabla 21. Porcentajes de consumos de gas en ACS y en Calefacción en cada vivienda monitorizada.....	44
Tabla 22. Consumos de ELECTRICIDAD facturados en periodos contemplados.....	45
Tabla 23. Consumos anuales (de julio a julio) de Electricidad y ahorros porcentuales en viviendas.....	46
Tabla 24. Consumos anuales de electricidad por m ² en viviendas.....	46
Tabla 25. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P1 (5 ^o -3 ^a).....	47
Tabla 26. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P3 (1 ^o -1 ^a).....	48
Tabla 27. Emisiones anuales y por m ² de CO ₂ de cada vivienda debidas al consumo de gas.....	49
Tabla 28. Emisiones de CO ₂ anuales en cada vivienda debidas al consumo de ACS (gas).....	49
Tabla 29. Emisiones de CO ₂ anuales en cada vivienda debidas a calefacción (gas).....	50
Tabla 30. Emisiones anuales de CO ₂ anuales debidas al consumo eléctrico.....	50
Tabla 31. Emisiones de CO ₂ anuales debidas a la refrigeración eléctrica.....	50
Tabla 32. Efecto pandemia en el consumo de electricidad de la vivienda P2.....	51
Tabla 33. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de pandemia.....	52
Tabla 34. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de pandemia.....	52
Tabla 35. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de guerra.....	53
Tabla 36. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de guerra.....	53
Tabla 37. Características y criterios de clasificación de las viviendas del edificio.....	55
Tabla 38. Clasificación de cada vivienda en función de las viviendas monitorizadas.....	55
Tabla 39. Consumos energéticos y emisiones de CO ₂ del edificio SIN rehabilitar.....	56
Tabla 40. Consumos energéticos y emisiones de CO ₂ del edificio rehabilitado.....	56
Tabla 41. Ahorro logrado por sistemas.....	56
Tabla 42. Ahorro logrado por tipos de energía.....	57
Tabla 43. Disminución de emisiones de CO ₂ totales.....	57
Tabla 44. Consumos de gas en años anteriores al año de comienzo del análisis.....	58
Tabla 45. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado sin rehabilitación.....	62
Tabla 46. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado tras rehabilitación.....	62
Tabla 47. Comparación de consumos anuales de energía final por servicios (Calefacción, ACS y Refrigeración). Edificio sin rehabilitar	65
Tabla 48. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Sin rehabilitación	65
Tabla 49. Comparativa Emisiones de CO ₂ . Edificio sin rehabilitar.....	65
Tabla 50. Comparación de consumos anuales de energía final por servicios (Calefacción, ACS y Refrigeración). Edificio rehabilitado.....	65
Tabla 51. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Edificio Rehabilitado.....	65
Tabla 52. Comparativa Emisiones de CO ₂ . Edificio Rehabilitado.....	65
Tabla 53. Consumos de energía mensual del edificio por servicios (calefacción y ACS).....	66
Tabla 54. Comparación de consumos en edificio rehabilitado según facturas y según HULC.....	69
Tabla 55. Diferencias superficies.....	71
Tabla 56. Calculo caudal de ventilación en edificio.....	71

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 57 del anexo II *Viviendas Monitorizadas* es otra diferente (donde la media de ocupación está en 3 personas). 72

Índice de gráficas

Gráfica 1. Distribución de la antigüedad de las viviendas España 1980-2001 (Fuente: Censo de población y vivienda 2011, INE)	12
Gráfica 2. Gráfico de distribución de las viviendas principales por edad de construcción y tipología (Miles de Viviendas) (fuente: MITMA a partir de Encuesta Continua de Hogares 2018 (INE).	12
Gráfica 3. Evolución 2010-2020 del consumo de energía en el sector residencial desglosado por usos (ktep) (Fuente: IDAE (2022)).....	13
Gráfica 4. <i>Temperaturas interiores y exterior semana más fría del invierno (diciembre 2021)</i>	33
Gráfica 5. <i>Temperaturas interiores vivienda P1 en semana más fría</i>	34
Gráfica 6. <i>Variación de temperaturas viviendas ante cambio brusco temperatura exterior mayo 2022</i>	35
Gráfica 7. <i>Evolución de temperaturas exterior e interiores con y sin sistemas de refrigeración (Julio 2022)</i>	35
Gráfica 8. <i>Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto</i>	37
Gráfica 9. <i>Consumos eléctricos según facturas</i>	45

Índice de termografías

<i>Termografía 1. Pérdidas de calor en marcos dobles ventanas</i>	38
<i>Termografía 2. Pérdidas puentes térmicos en solera y en la unión del mirador con la fachada principal del edificio</i>	38
<i>Termografía 3. Pérdidas de calor en el edificio a través de la puerta de entrada al bloque</i>	39
<i>Termografía 4. Pérdidas en saliente solera bajo cubierta</i>	39
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 (<i>Termografía 6 y 5</i>).....	39
<i>Termografía 6. Comparativa fachada principal</i>	39
<i>Termografías 7. Comparación de pérdidas energéticas con bloques contiguos</i>	40

Anexos

ANEXO I Soluciones Constructivas
ANEXO II TFM Viviendas Monitorizadas
ANEXO III Recopilación de Datos
ANEXO IV TFM Análisis realizados y resultados obtenidos
ANEXO V TFM Eficiencia y ahorro energético alcanzado
ANEXO VI Modelización en HULC del Edificio y Resultados Simulación
ANEXO VII TFM Comparación resultados con simulación en HULC
ANEXO VIII TFM Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones

Hojas de cálculo

Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx

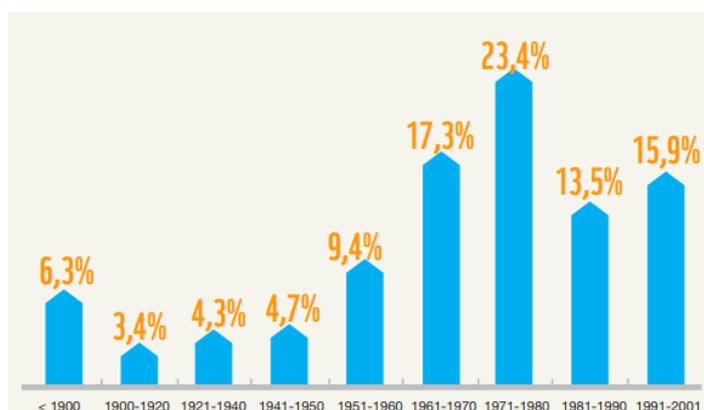
Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx

Consumos - Resultados y Comparaciones Ver 5.xlsx

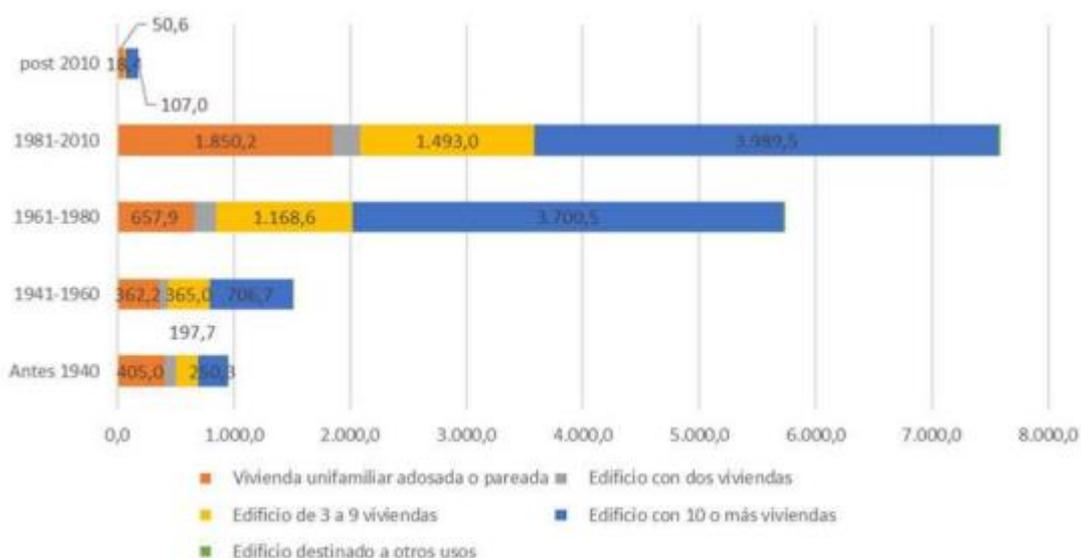
1. INTRODUCCION

1.1. Problemática de los edificios de vieja construcción. Planes de ayuda

El último censo de población y vivienda realizado por el INE fue en 2011 (el próximo se publicará en el primer semestre del año 2023). Según este censo el parque residencial en España está compuesto de 25.208.623 viviendas, de las cuales casi el 60% son ineficientes energéticamente [1] y [2]. La mayoría construidas antes de la primera normativa española sobre eficiencia energética, *Norma Básica de la edificación NBE-CT-79 sobre las Condiciones Térmicas de Edificios* [3], normativa que entró en vigor el 22 de enero de 1980 y que adoptó “medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios, haciendo frente así a los problemas derivados del encarecimiento de la energía”.



Gráfica 1. Distribución de la antigüedad de las viviendas España 1980-2001 (Fuente: Censo de población y vivienda 2011, INE)

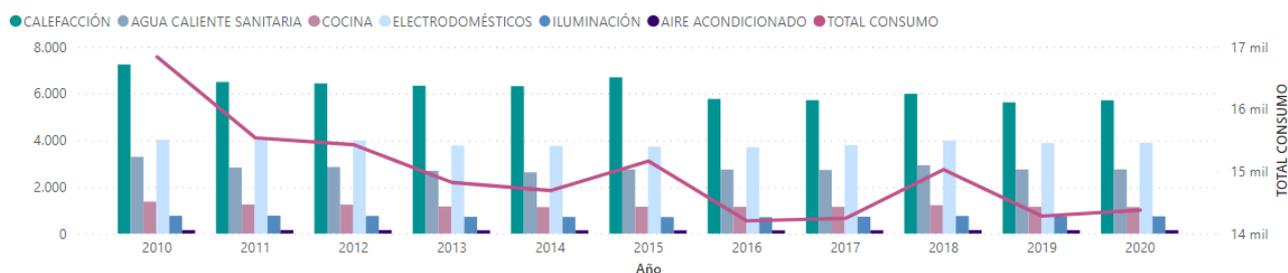


Gráfica 2. Gráfico de distribución de las viviendas principales por edad de construcción y tipología (Miles de Viviendas) (fuente: MITMA a partir de Encuesta Continua de Hogares 2018 (INE).

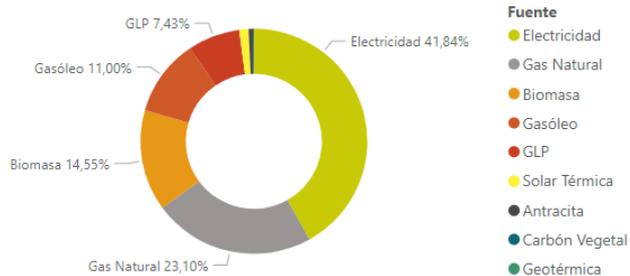
dado que “el nivel de aislamiento es un dato fundamental a la hora de determinar la demanda energética de los edificios” [4], este porcentaje tan elevado de hogares, que adolecen de cualquier tipo de aislamiento térmico, tienen en común una elevada demanda en sus consumos de calefacción y/o refrigeración, (dependiendo de la zona climática de la vivienda) demandas que llevan acarreadas altas pérdidas, elevados costes energéticos y excesivas emisiones de CO₂, más teniendo en cuenta que los consumos en calefacción son

el monto más importante en un hogar (Gráfica 3) y que sumados a los de ACS y refrigeración representa más del 60-70% del consumo total de energía en edificios residenciales [5].

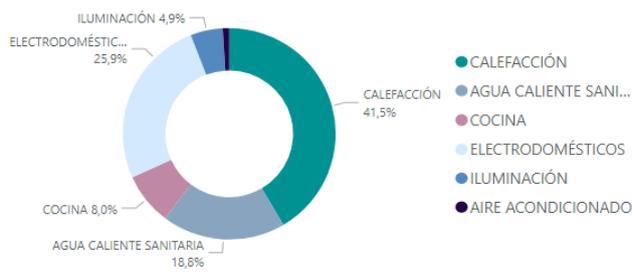
Evolución del consumo de energía final por usos (ktep)



Estructura del consumo de energía final por fuentes



Estructura del consumo por usos



Gráfica 3. Evolución 2010-2020 del consumo de energía en el sector residencial desglosado por usos (ktep) (Fuente: IDAE (2022))

Aparte de los problemas de excesivo gasto energético que supone alcanzar un estado de confort, el otro problema relacionado con los edificios de vieja construcción es la pobreza energética. De acuerdo a los datos ofrecidos por el Instituto Nacional de Estadística, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y los indicadores del Observatorio Europeo contra la Pobreza Energética, en 2017 3,7 millones de personas vivían en con temperaturas inadecuadas; 3,5 millones de personas afrontaban retrasos en el pago de sus facturas; 5,1 millones de personas sufrían pobreza energética escondida (porcentaje de los hogares cuyo gasto energético absoluto es inferior a la mitad de la mediana nacional); y 8,1 millones de españoles presentaban un gasto desproporcionado en relación con sus ingresos [6] [7].

Para afrontar estos retos, las políticas europeas y nacionales han impulsado una serie de proyectos y normativas encaminadas a la rehabilitación térmica en sus parques urbanísticos; en el caso español la de aquellos edificios con más de 40 años [6] y [8]. En este sentido el plan estatal de la vivienda prevén subvenciones destinadas a *“mejorar de la envolvente térmica de edificios para reducir su demanda energética de calefacción o refrigeración mediante actuaciones en fachada, cubierta, plantas bajas no protegidas o cualquier paramento de dicha envolvente, de mejora de su aislamiento térmico”* [9]. En Aragón estas normativas europeas y nacionales se traducen en planes de ayudas a la rehabilitación edificatoria de uso residencial a través de diferentes planes de vivienda [10]. En Zaragoza dichas ayudas se otorgan mediante la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda, S.L.U [11].

La obra de rehabilitación energética del edificio objeto de este TFM 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 [11] y [12].

1.2. Presentación y descripción del edificio

1.2.1. Recopilación de información

Para la realización del presente trabajo se han llevado a cabo diferentes acciones con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de datos posibles. Estas acciones han sido:

- Fotografías del inmueble, inmediaciones y viviendas monitorizadas.
- Visitas y entrevistas con inquilinos y propietarios de las viviendas monitorizadas.
- Consulta de expedientes de construcción y rehabilitación del edificio.
- Comunicaciones puntuales con la empresa responsable de la rehabilitación energética del edificio y con la empresa encargada de realizar las monitorizaciones.
- Recopilación de monitorizaciones y de facturas de gas y electricidad de las tres viviendas seleccionadas del edificio.
- Medidas y observaciones in situ.
- Termografías tomadas en el edificio en periodo invernal.

En líneas generales cuando algún parámetro no este definido en los expedientes del edificio (memoria y planos del proyecto original y proyecto de rehabilitación) o entre en conflicto con la realidad observada se priorizarán 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. Código Técnico de la Construcción (CTE), leyes, reglamentación de la época y artículos y trabajos científicos.
- 4º. Indicaciones recogidas de los vecinos del inmueble.
- 5º. Suposiciones basadas en la lógica y simplicidad (ante dos suposiciones validas se escoge la menos compleja).

En **las secciones** siguientes se llevan a cabo las diferentes fases del presente trabajo.

- En la sección presente *INTRODUCCION*, se exponen la problemática en términos de consumo y perdida de energía que presentan los edificios de vieja construcción, las políticas y ayudas nacionales y regionales para solventar dichos problemas y se aterriza en el edificio objeto de este trabajo como receptor de tales ayudas para la rehabilitación energética de su envolvente.
- En la sección 2 *DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DEL INMUEBLE* se describe la envolvente original y las soluciones constructivas llevadas a cabo en la rehabilitación energética.
- La sección 3 *SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TRES VIVIENDAS DEL INMUEBLE OBJETO DEL ESTUDIO*, describe las viviendas seleccionadas, sus características, sistemas de climatización, residentes y hábitos energéticos.
- La 4ª sección *RECOPIACIÓN DE LOS DATOS MONITORIZADOS A TRAVÉS DE SONDAS Y FACTURAS*, presenta los sistemas de monitorización utilizados, el tratamiento de los datos recopilados y el de las de las facturas obtenidas.
- En la 5ª *ANÁLISIS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS*, se lleva a cabo la interpretación, estudio, análisis y comparación de los datos obtenidos antes y después de la rehabilitación. Datos de entrevistas, datos monitorizados, facturas de consumo recabadas y termografías tomadas.
- En la sección 6. *NIVEL DE EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO ALCANZADOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS* se reflejan los resultados obtenidos y el nivel de eficiencia energética logrado.

- En la 7 *MODELIZACIÓN EN HULC DEL EDIFICIO Y RESULTADOS SIMULACIÓN*, se realiza la caracterización y modelización energética del edificio por medio de la herramienta de verificación y certificación energética HULC (Herramienta Unificada Lider Calener), obteniéndose las demandas energéticas y certificados del edificio.
- En la sección 8 *COMPARACIÓN ENTRE AHORROS REALES OBTENIDOS Y LOS CALCULADOS MEDIANTE EL SOFTWARE HULC* se realiza la comparativa de los resultados de consumos reflejados en facturas con los resultados conseguidos en la simulación del bloque en HULC.
- En la 9 *DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE LAS POSIBLES DESVIACIONES* se determinan las causas que propician las diferencias entre los resultados provenientes de los datos reflejados en facturas y la de los reflejados en la simulación
- Por último en la 10 *CONCLUSIONES*, se sacan conclusiones y valoraciones sobre el trabajo realizado c

las actuaciones realizadas, los análisis efectuados, los resultados obtenidos, la caracterización y simulación del bloque y las comparaciones resultantes.

Los **anexos** que acompañan la memoria tiene el mismo título que las secciones y en ellos se desarrollan y detallan el trabajo descrito en cada sección (detalles y pormenores de actuaciones, monitorizaciones, análisis, seguimientos realizados sobre el inmueble, caracterizaciones, etc.).

En **las hojas de cálculo** nombradas en el índice se encuentran los datos, cálculos y gráficas realizados con los datos conseguidos en monitorizaciones y facturas. A lo largo del trabajo se citan indicando en que libro u hoja de Excel se encuentran los datos o cálculos mencionados. Dichas hojas de cálculo se adjuntan como archivos Excel.

1.2.2. Edificio Avda. Rodríguez Ayuso.

El inmueble se ubica en el barrio Oliver de Zaragoza, en la Avda. Manuel Rodríguez Ayuso N.º 54. Es un edificio en forma de L situado en el extremo de una manzana aislada formada por cinco bloques edificados en el año 1964 bajo el mismo proyecto (bloques 48, 50, 52, 54 y 54 duplicado). [13]. La fachada principal del edificio, y del conjunto de bloques, está orientada a 45° Sureste.



Figura 1. Ubicación edificio.

El edificio es un bloque entre medianeras, se asumen adiabáticas, tiene 5 plantas alzadas con 2 viviendas en planta primera y 3 viviendas en cada una de las 4 plantas restantes. El edificio dispone de un pequeño zaguán de entrada que da paso a unas escaleras que conducen a cada planta disponiendo de una ventana por planta para su ventilación. En cada planta hay un pequeño espacio común donde se hayan las puertas de acceso a las viviendas. Toda la planta semisótano la ocupa un local que originalmente se dedicó a garaje y actualmente es un almacén de materiales de construcción con acceso a nivel de calle en su fachada posterior e independiente



Figura 4. Fachada trasera en patio interior antes de rehabilitación

El sistema de climatización de la mayoría de las viviendas es por medio de calderas murales mixtas de gas natural. El sistema de calefacción y ACS por caldera individual y radiadores 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. Cinco viviendas tienen instalados sistemas de refrigeración individual, (cuatro Split y un sistema móvil).

La siguiente tabla resume lo expuesto.

Datos Edificio	
N.º Viviendas	14
N.º. Plantas	5
N.º usuarios	33 (estimado)
N.º de dormitorios	2 por vivienda
Orientación	45° SE
Año construcción	1964
Superficie Útil media por vivienda	44,5 m ²
Superficie planta baja	152
Superficie habitable total	655 m ²
Superficie total	796 m ²
Altura por planta	2,8 m (suelo a suelo)
Altura total	17,2 m
Compacidad	3

Tabla 1. Datos edificio

2. DESCRIPCIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DEL INMUEBLE

En esta sección se describe la envolvente original y las soluciones constructivas llevadas a cabo en la rehabilitación energética del inmueble. La información detallada de dichas soluciones se encuentra en el ANEXO I *Soluciones Constructivas*.

2.1. Estado inicial envolvente

De acuerdo al expediente del proyecto original [15] 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.

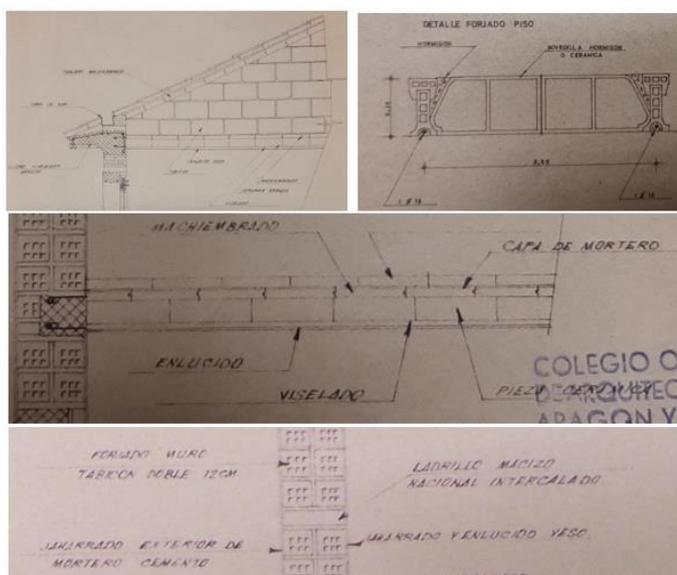


Figura 5. Composición de la envolvente de acuerdo a planos originales

2.2. 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* [16] 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 obras 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 CO₂

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.



Figura 6. Intervenciones realizadas

2.2.1. Fechas donde 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 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.

3. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TRES VIVIENDAS DEL INMUEBLE OBJETO DEL ESTUDIO

El estudio de la eficiencia energética del edificio se efectúa a través de diferentes análisis realizados en tres de sus viviendas. Viviendas, representativas del bloque completo, donde se realizan dichos análisis antes y después de la rehabilitación del bloque y que posteriormente se extrapolarán al edificio completo.

Esta sección describe las viviendas seleccionadas, sus características, sistemas de climatización, residentes y hábitos energéticos. La información con más detalle se encuentra en el ANEXO II *Viviendas Monitorizadas*.

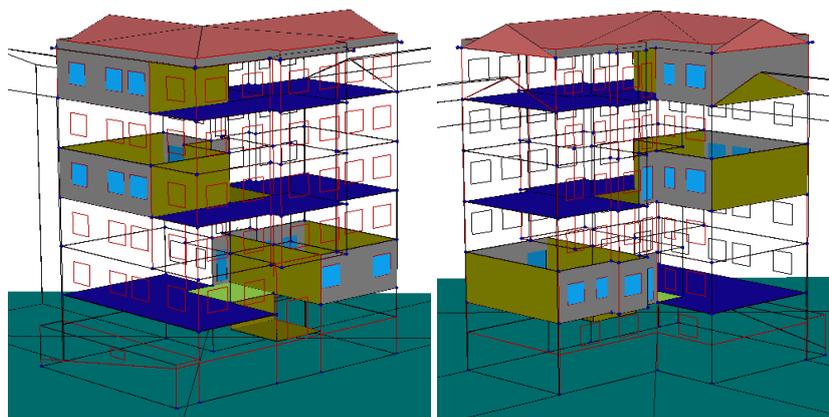
3.1. Selección y características de las viviendas monitorizadas

La monitorización de tres viviendas en planta baja, intermedia y bajo cubierta es un requisito obligatorio que Zaragoza Vivienda pide para conceder las subvenciones [17]. 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.

3.1.1. Selección

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

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



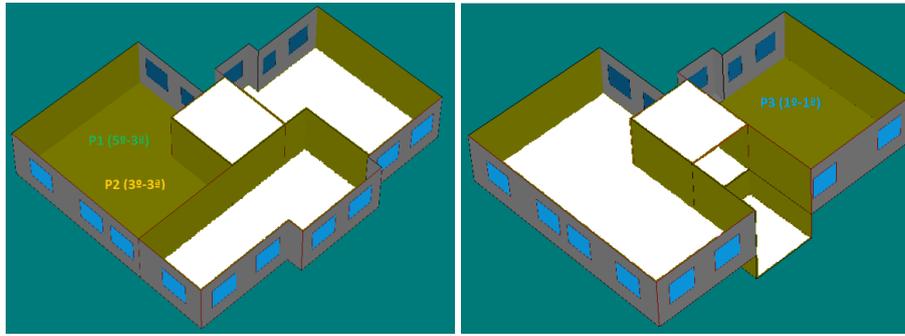


Figura 7. Situación viviendas monitorizadas en el edificio.

3.1.2. 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	1.1.1	Exterior vivienda
Color	Azul	Marrón	Verde	Lavanda	Azul claro	Rosa Claro
Representación en Grafana	P3	P2	P1			

Tabla 2. 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 3.

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 3. Etiquetado y color de periodos de análisis de consumos de energía

3.1.3. 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

3.1.4. 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 4 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		
Consumo ACS (l/día-persona)	28	0	84	84	112	84	84
Vivienda	3º-3ª	4º-1ª	4º-2ª	4º-3ª	5º-1ª	5º-2ª	5º-3ª
Personas	1	3	3	4	1	2	2
Datos personas	Viuda de más de 80 años			Familia	Joven emigrante	Pareja	Pareja joven emigrante
Consumo ACS (l/día-persona)	28	84	84	112	28	56	56

Tabla 4. Datos de ocupantes y consumos en cada vivienda del edificio

3.1.5. 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) [18] 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.

3.1.6. Superficie viviendas monitorizadas

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

Tabla 5. Superficie de las viviendas monitorizadas

3.2. 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 Cuestionario Vecinos, donde se pregunta a los vecinos sobre sus hábitos energéticos y la historia del propio edificio.

3.2.1. Encuesta. Entrevistas.

Dada la edad tan avanzada de dos de las moradoras de los pisos de muestra (1^º-1^ª y 3^º-3^ª) 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 [19], 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.

A través de las entrevistas se conocieron datos sobre:

- 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 años, 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.

3.2.2. 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^º-2^º) esta desocupada

Vivienda P1 5^º-3^ª

- 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^ºC
- 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 3º-3ª

- 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 1º-1ª

- 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.

3.3. 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 6 donde se indica qué 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	Elec	Gas	Gas							
Refrigeración	Elec		Elec	Elec					Elec					Elec

Tabla 6. Fuente energética Calefacción, ACS y Refrigeración

3.3.1. Sistemas de calefacción y ACS

3.3.1.1. 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 8. Radiadores en viviendas de muestra 1ª-1ª, 3ª-3ª y 5ª-3ª

3.3.1.2. Características de calderas

Vivienda	P3 (1ª-1ª)	P2 (3ª-3ª)	P1 (5ª-3ª)
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 7. 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 ([20], [21], [22]).

3.3.2. Sistemas de refrigeración

Como se indica en la Tabla 6 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 9. Sistemas de refrigeración viviendas 1ª1ª, 2ª1ª, 2ª2ª, 4ª1ª y 5ª3ª,

3.3.2.1. 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 8. 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 ³ /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 9. Características sistemas de refrigeración viviendas

Los datos en rojo son estimados y se utilizarán más adelante en la caracterización en HULC del edificio.

4. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS MONITORIZADOS A TRAVÉS DE SONDAS Y FACTURAS

El impacto que ha supuesto la rehabilitación térmica del edificio se cuantifica a través de la monitorización, en de la temperatura, humedad y niveles de CO₂ en el interior de las tres viviendas seleccionadas, de la temperatura y humedad en el exterior del edificio y de las facturas de consumos de gas y electricidad de los tres hogares.

En esta sección se presentan los sistemas de monitorización utilizados, el tratamiento de los datos recopilados y el de las de las facturas obtenidas. El desarrollo de la sección se halla en el ANEXO III *Recopilación de Datos*.

4.1. Equipos de medida y monitorización

4.1.1. Sistema de monitorización y ubicación en cada vivienda

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 [23].

4.1.1.1. Sensor Gateway

Como Gateway se ha instalado un equipo Dragino LPS8N [24] conectado a un router 3G para el envío de datos al servidor.

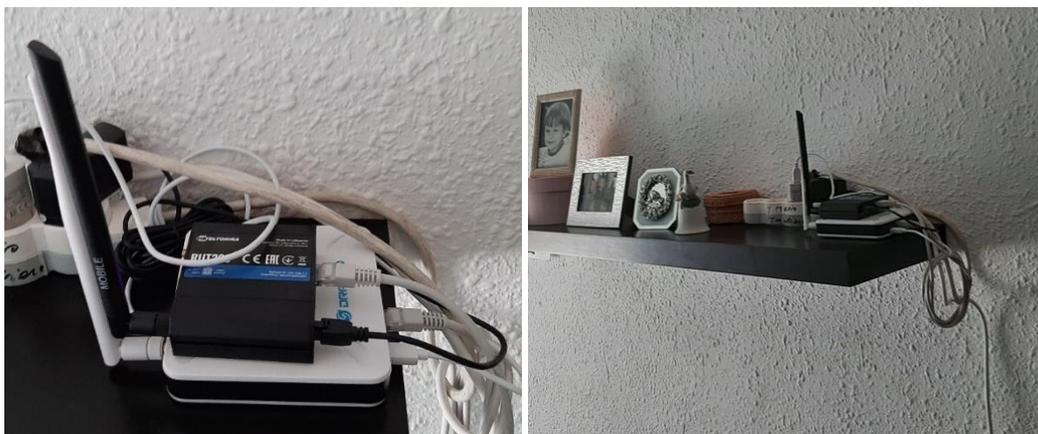


Figura 10. Router y Gateway en piso P2 (3º-3ª)

4.1.1.2. Sensor de temperatura, humedad y CO₂

Para las viviendas se han seleccionado sensores de temperatura, humedad y CO₂ de la marca ELSYS modelo ERS CO2 Lite [25].

Los sensores de temperatura, humedad y CO₂ se han situado en los salones de las viviendas monitorizadas.



Figura 11. 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 12. Sensor exterior

4.2. Recopilación de datos monitorizados. Grafana.

Grafana [23] 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.

Desde esta plataforma se pueden almacenar y consultar los datos correspondientes a Temperatura interior y exterior, Humedad interior y exterior y Niveles de concentración de CO₂ en cada una de las tres viviendas.

4.2.1. Etiquetado de datos en Grafana

- 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.

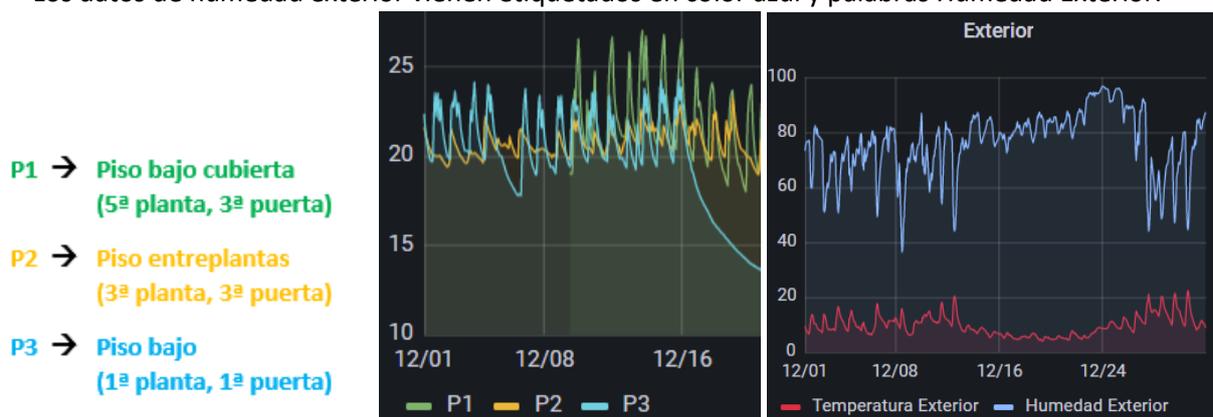


Figura 13. Codificación de datos en Grafana

4.3. 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.xlsx*.

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**. 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 10 y Tabla 11

4.3.1. 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-3ª)		P2 (3º-3ª)		P3 (1º-1ª)			
		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	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		Verano 2022
25/07/2022	21/09/2022	17	195						
				1	12	3	35		

Tabla 10. Facturas de consumos de gas

4.3.2. 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 (1º - 1ª)				Consumo ELECTRICIDAD				Consumos ELECTRICIDAD P2 (2º - 2ª)				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)	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	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	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	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	29	14/09/2019 13/10/2019	103.000	3,55
96	33 10/10/2019 12/11/2019	146.000	4,42	83	33 10/10/2019 12/11/2019	128.000	3,88	93	35 13/10/2019 17/11/2019	147.000	4,20	93	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	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	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	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	27	16/02/2020 14/03/2020	138.187	5,12
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	32	14/03/2020 15/04/2020	82.665	2,58
91	28 14/04/2020 12/05/2020	71.000	2,54	90	33 31/03/2020 03/05/2020	251.000	7,61	92	28 14/04/2020 13/05/2020	131.282	4,69	92	28 14/04/2020 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	31/05/2020 14/06/2020	196.666	6,15	32	31/05/2020 14/06/2020	196.666	6,15
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	30	14/06/2020 14/07/2020	203.323	6,78
91	32 11/07/2020 12/08/2020	187.000	5,84	94	33 29/06/2020 01/08/2020	130.000	3,94	92	32 14/07/2020 15/08/2020	385.671	12,05	92	32 14/07/2020 15/08/2020	385.671	12,05
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	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	31	14/09/2020 15/10/2020	110.813	3,57
96	30 12/10/2020 11/11/2020	125.000	4,17	90	33 29/09/2020 01/11/2020	195.000	5,91	92	32 15/10/2020 16/11/2020	131.865	4,12	92	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	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	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	27	18/01/2021 14/02/2021	50.000	1,85
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	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	35	14/03/2021 18/04/2021	137.838	3,94
91	28 14/04/2021 12/05/2021	108.000	3,86	120	28 04/04/2021 02/05/2021	97.000	3,46	91	28 18/04/2021 16/05/2021	124.571	4,45	91	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	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	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	28	13/06/2021 11/07/2021	237.503	8,48
94	27 11/07/2021 07/08/2021	125.219	4,64	93	30 31/07/2021 30/08/2021	141.011	4,70	92	33 11/07/2021 13/08/2021	330.619	10,02	92	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 09/09/2021	175.694	5,67	31	13/08/2021 09/09/2021	175.694	5,67
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	33	13/09/2021 16/10/2021	115.832	3,51
94	30 11/10/2021 10/11/2021	106.368	3,55	94	27 31/10/2021 27/11/2021	125.715	4,66	93	29 16/10/2021 14/11/2021	95.404	3,29	93	29 16/10/2021 14/11/2021	95.404	3,29
31	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	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	138.395	4,01	32	15/12/2021 16/01/2022	138.395	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	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	30	11/02/2022 13/03/2022	123.757	4,13
35	07/03/2022 11/04/2022	123.505	3,53	91	32 30/03/2022 01/05/2022	140.478	4,39	35	13/03/2022 17/04/2022	124.536	3,56	35	13/03/2022 17/04/2022	124.536	3,56
96	28 11/04/2022 09/05/2022	92.898	3,32	29	01/05/2022 30/05/2022	137.459	4,74	92	26 17/04/2022 13/05/2022	84.073	3,23	92	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	31	13/05/2022 13/06/2022	113.173	3,65
30	11/06/2022 11/07/2022	142.252	4,74	31	31 29/06/2022 30/07/2022	201.782	6,51	30	13/06/2022 13/07/2022	176.365	5,88	30	13/06/2022 13/07/2022	176.365	5,88
95	29 11/07/2022 09/08/2022	174.979	6,03					92	32 13/07/2022 14/08/2022	315.858	9,87	92	32 13/07/2022 14/08/2022	315.858	9,87
36	09/08/2022 14/09/2022	158.451	4,43					30	14/08/2022 13/09/2022	117.086	3,90	30	14/08/2022 13/09/2022	117.086	3,90

Tabla 11. Facturas de consumos de electricidad

5. ANÁLISIS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

En esta sección se lleva a cabo la interpretación, estudio, análisis y comparación de los datos obtenidos antes y después de la rehabilitación. Los análisis y resultados se refieren, en su mayoría, a las viviendas monitorizadas.

El detalle y desarrollo de cada análisis realizado se encuentra en el ANEXO IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*. Todos los cálculos realizados se encuentran en las diferentes hojas del libro Excel: *Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx*.

Los análisis realizados han sido:

- Comportamiento de las viviendas en la semana más fría (invierno 2021-22)
 - Confort y disconfort 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 disconfort 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 temperas 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.

5.1. Limitaciones en los análisis

La principal limitación parte 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 factura, estas factura 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 median 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.

5.2. Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada

Debido a las limitaciones en la monitorización del edificio de Manuel Rodríguez Ayuso Nº 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)*” [26].

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.

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

5.3. 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% [5].

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) [27].

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

Tabla 12. Condiciones interiores de diseño

Aunque en la guía de aplicación del documento básico (DB HE) del 2019 en su versión de junio de 2022 [28] 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.*”

Por último mencionar el Real Decreto Ley 14/2022 [29] sobre, entre otras, medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural, decreto aplicable hasta Noviembre de 2023 que fija una temperatura de 19 °C para invierno, 27 °C para verano y una humedad entre el 30% y el 70%.

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 desconfort 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.

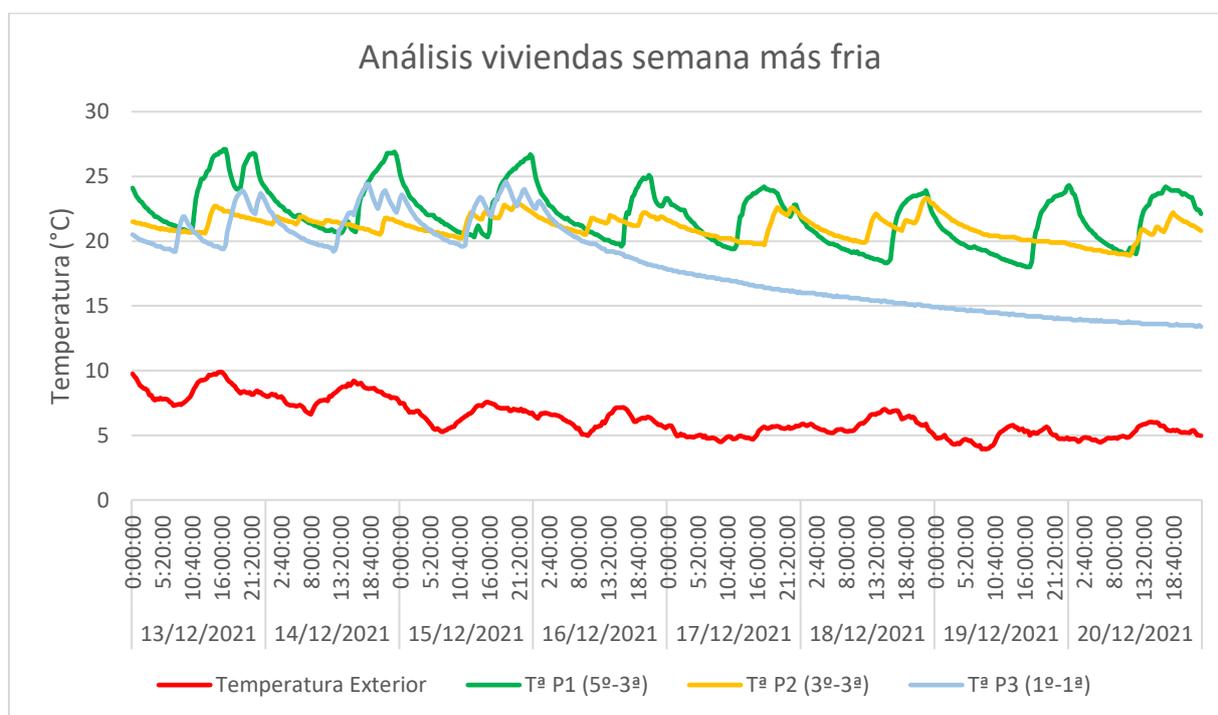
NOTA

Dada la cantidad de datos, tablas, gráficas, comentarios y observaciones recogidos en los análisis realizados y la imposibilidad de discernir qué dato, qué tabla es más importante, en las siguientes páginas se hace un resumen excesivamente somero del trabajo realizado y se emplaza al lector al correspondiente apartado del ANEXO IV *Análisis realizados y resultados obtenidos* para su consulta más detallada.

5.4. 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 4. Temperaturas interiores y exterior semana más fría del invierno (diciembre 2021)

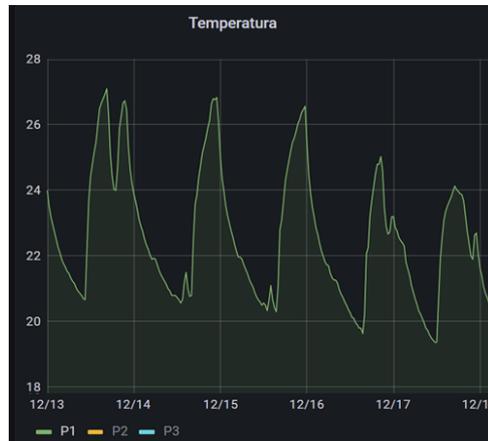
	Exterior vivienda	Tª P1 (5º-3ª)	Tª P2 (3º-3ª)	Tª P3 (1º-1ª)
Tª máxima (°C)	9,89	27,10	23,30	24,60
Tª mínima (°C)	3,93	18,00	18,90	13,40
Tª promedio (°C)	6,31	22,03	21,08	18,10
Desviación típica	1,40	2,15	0,87	3,34

Tabla 13. 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.

Llama la atención en este periodo la temperatura interna que se alcanza en la vivienda P1 causa de la mayor oscilación térmica en esta vivienda mostrada en la *Gráfica 5*. La desviación mayor en la vivienda P3 se debe a que quedó vacía a mitad de semana (*Gráfica 4*).



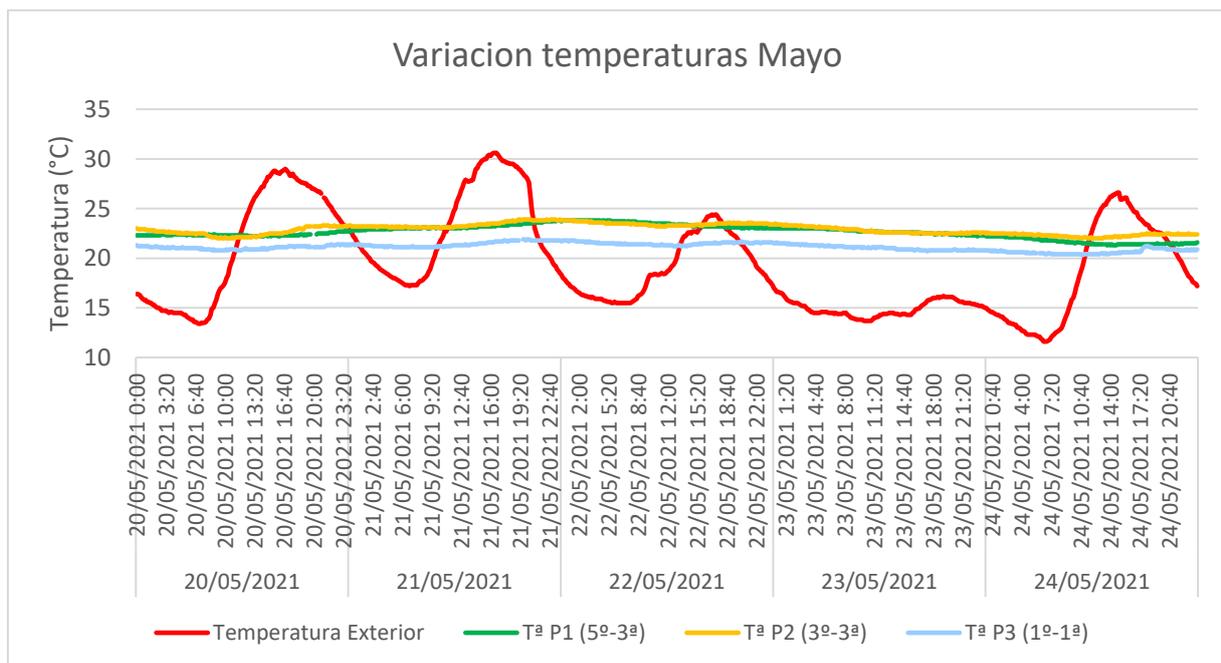
Gráfica 5. Temperaturas interiores vivienda P1 en semana más fría

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

5.5.1. 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 6*).

La gráfica muestra 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 6. Variación de temperaturas viviendas ante cambio brusco temperatura exterior mayo 2022

Se observa que a pesar de las fluctuaciones en el exterior, la temperatura oscila muy poco en el interior de cada vivienda, demostrando el papel amortiguador y la inercia térmica de la envolvente rehabilitada. Hubiera sido interesante tener una gráfica parecida antes de la rehabilitación y comparar resultados.

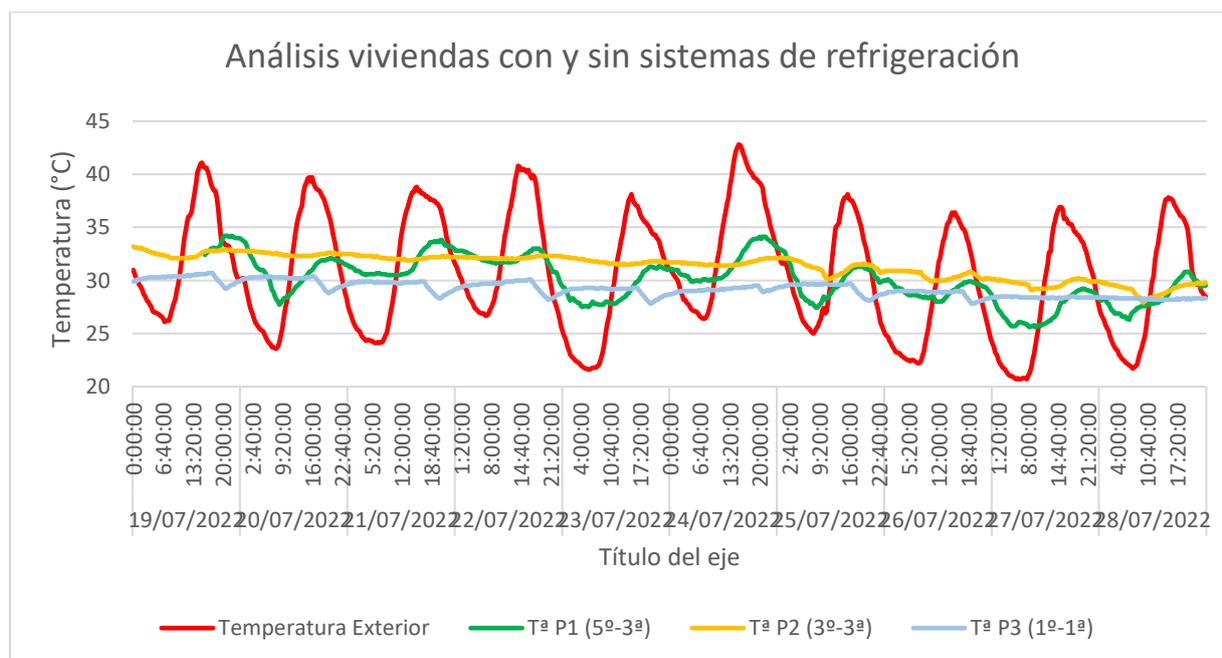
5.6. Análisis del comportamiento de viviendas en verano con y sin sistemas de refrigeración

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 7. 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)
Tª máxima (°C)	42,80	34,20	33,20	30,70
Tª mínima (°C)	20,70	25,60	27,90	27,80
Tª promedio (°C)	30,64	30,09	31,35	29,20
Desviación típica	5,67	2,11	1,17	0,71

Tabla 14. Variación de temperaturas con y sin sistemas de refrigeración

Del análisis de la Gráfica 7, y de la Tabla 14 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.
- El patrón que sigue este piso (P1), a lo largo de la semana consiste en la subida de temperaturas, sobre todo al medio día y hasta las 20h aproximadamente , de ahí en adelante desciende 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.

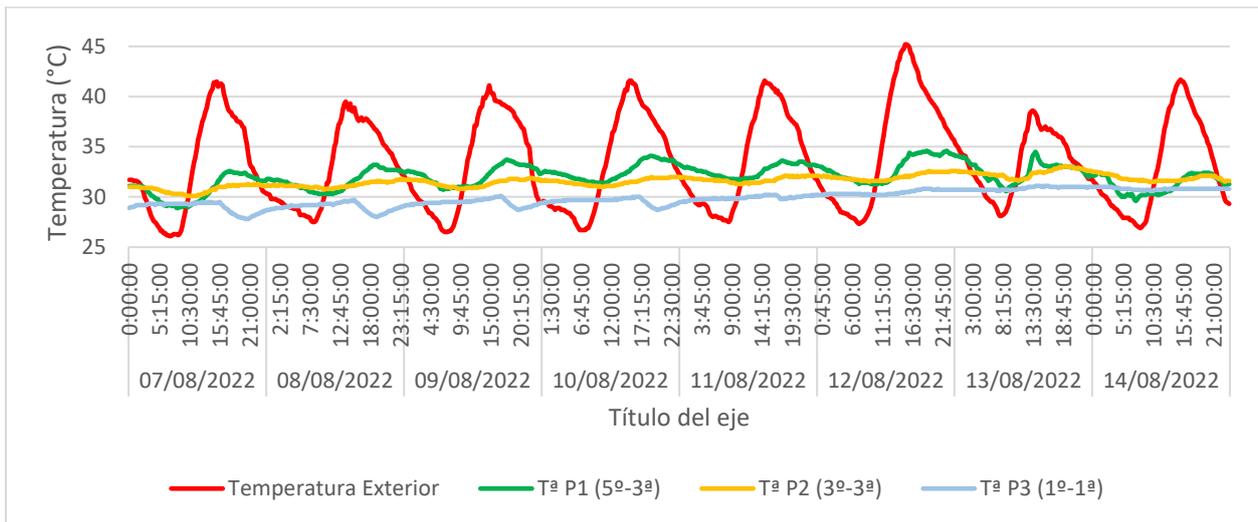
5.7. Análisis del comportamiento térmico de viviendas en días más cálidos (verano 2022)

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 8* y la *Tabla 15* 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^o-3^a) 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^o-3^a) 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^o-1^a) 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 8* 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 8. Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto

Observando la Gráfica 8 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 15. Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto

- La Tabla 15 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).
- 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).

5.8. Análisis termográfico

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

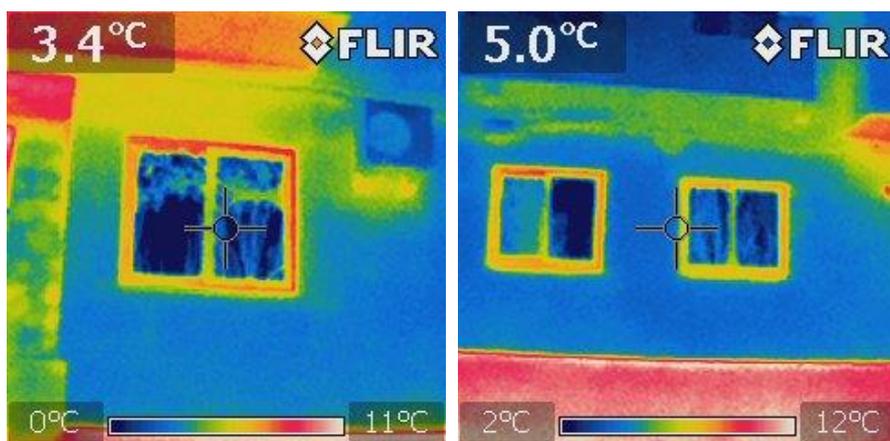
Los Parámetros utilizados en la toma de termografías han sido:

- Tomadas el 1 y 2 de abril de 2022 entre las 20h y las 21h
- Temperatura exterior: 8°C y 9°C

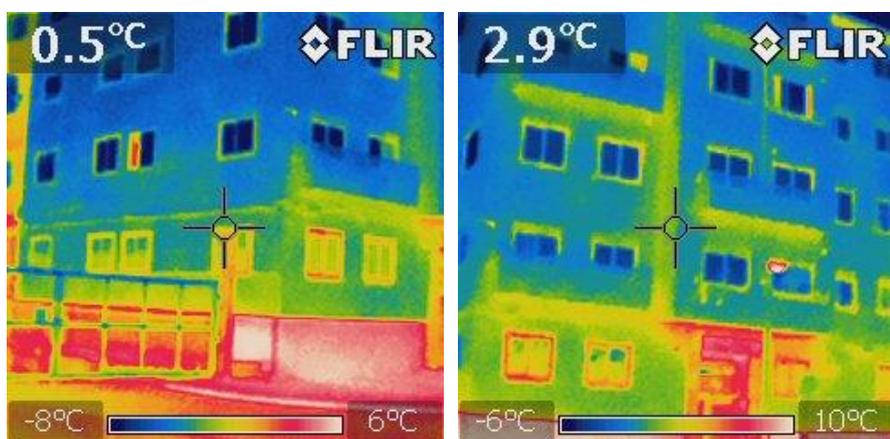
- Humedad relativa: 50% y 33%
- Distancia: 10m a 40m aprox.
- Emisividad: 0,9
- Cámara termográfica: Flir i7
- Resolución IR: 120 x 120

5.8.1. 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*).

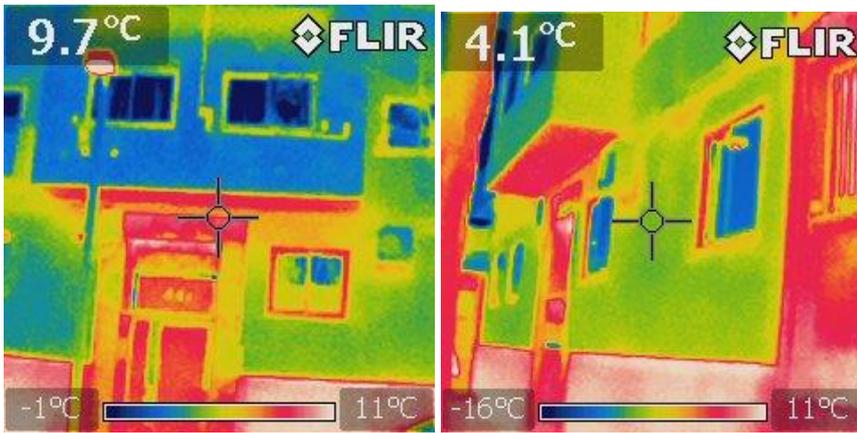


Termografía 1. Pérdidas de calor en marcos dobles ventanas



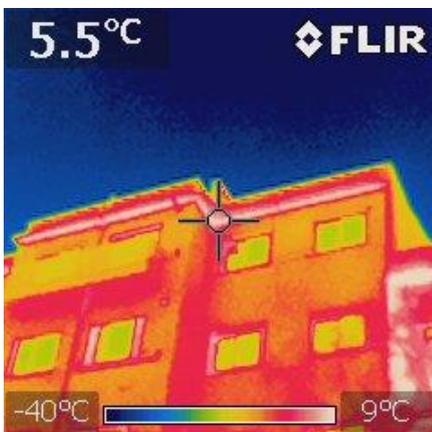
Termografía 2. Pérdidas puentes térmicos en solera y en la unión del mirador con la fachada principal del edificio

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

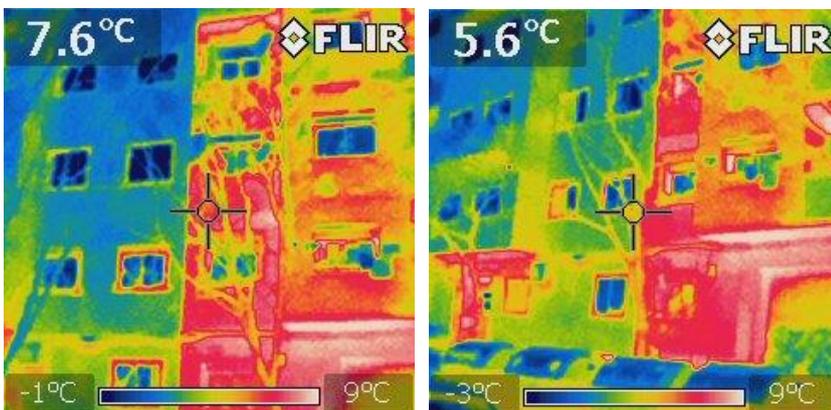
Otro foco de pérdidas de calor que se observa perfectamente, es el puente térmico del pequeño saliente situado en la parte superior del edificio y que es la continuación de la solera bajo cubierta (Termografía 4). Estas pérdidas disminuyen la eficiencia energética de las tres viviendas bajo cubierta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



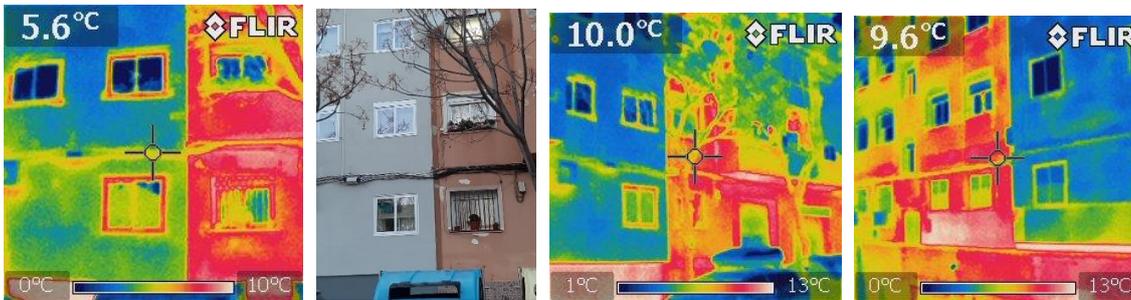
Termografía 4. Pérdidas en saliente solera bajo cubierta

5.8.2. 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.

5.9. 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 de consumos de gas.

- 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

		CONSUMO GAS							
Consumos GAS Facturados de Fecha inicio a Fecha fin		P1 (5 ^o -3 ^a)		P2 (3 ^o -3 ^a)		P3 (1 ^o -1 ^a)			
		m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh		
17/05/2019	19/07/2019		126		23		138	Verano 2019	
19/07/2019	23/09/2019		115		12		93	Año Edificio SIN rehabilitar	
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		Año Edificio SIN rehabilitar	
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	Año obras rehabilitación	
18/09/2020	19/11/2020	24	275	15	173	59	680		
19/11/2020	30/01/2021	108	1.242	94	1.086	226	2.612		Invierno 20-21
30/01/2021	25/03/2021	70	803	18	207	110	1.268	Año Edificio Rehabilitado	
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	Año Edificio Rehabilitado	
21/09/2021	30/09/2021	4	46	3	35	6	67		
30/09/2021	22/11/2021	30	345	23	266	34	395		Invierno 21-22
22/11/2021	24/01/2022	209	2.403	27	312	147	1.698	Año Edificio Rehabilitado	
24/01/2022	22/03/2022	70	802	43	495	114	1.312		GUERRA
22/03/2022	23/05/2022	38	434	10	115	42	482		
23/05/2022	25/07/2022	18	206	1	11	4	46	Verano 2022	
25/07/2022	21/09/2022	17	195						

Tabla 16. Consumos de GAS facturados en periodos contemplados

5.9.1. Consumo TOTAL de gas

En la tabla superior 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 (5 ^o -3 ^a)					
	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 (3 ^o -3 ^a)					
	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 (1 ^o -1 ^a)					
	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 17. 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 (5 ^o -3 ^a)				
	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 (5 ^o -3 ^a) (m2)				46,67
Consumos de GAS Anuales por m2 P2 (3 ^o -3 ^a)				
	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 (3 ^o -3 ^a) (m2)				46,67
Consumos de GAS Anuales por m2 P3 (1 ^o -1 ^a)				
	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 (1 ^o -1 ^a) (m2)				43,7

Tabla 18. Consumos de gas anuales por m2 en viviendas

5.9.2. 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 m² (kWh/m²año)

Con lo indicado se ha obtenido la *Tabla 19*.

Consumos ACS P1 (5^o-3^a) (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 m² (kWh/m²año)	32,87521	36,98246	25,53179
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m ²)	46,67		

Consumos ACS P2 (3^o-3^a) (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 m² (kWh/m²año)	5,75	2,97	1,43
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m ²)	46,67		

Consumos ACS P3 (1^o-1^a) (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 m² (kWh/m²año)	10,74	11,11	6,09
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m ²)	43,7		

Tabla 19. Consumos de gas en ACS por vivienda

Observando la tabla 19 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.

5.9.3. 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 si 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 20* muestra los consumos anuales, diario, por m2 de vivienda y el porcentaje de ahorro (o de incremento de consumo).

Consumos CALEFACCION (gas) P1 (5º-3ª)	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		
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	111,92	68,69	95,67		
Superficie P1 (5º-3ª) (m²)	46,67				
Consumos CALEFACCION (gas) P2 (3º-3ª)	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		
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	45,45	33,65	26,67		
Superficie P2 (3º-3ª) (m²)	46,67				
Consumos CALEFACCION (gas) P3 (1º-1ª)	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		
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	98,34	120,45	92,32		
Superficie P3 (1º-1ª) (m²)	43,7				

Tabla 20. Consumos de gas en calefacción en cada vivienda monitorizada

Las observaciones que se pueden obtener del análisis de la *Tabla 20* son las mismos que las realizados 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 21*.

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

Tabla 21. 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 20 y 21 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.

5.10. 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 22* 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

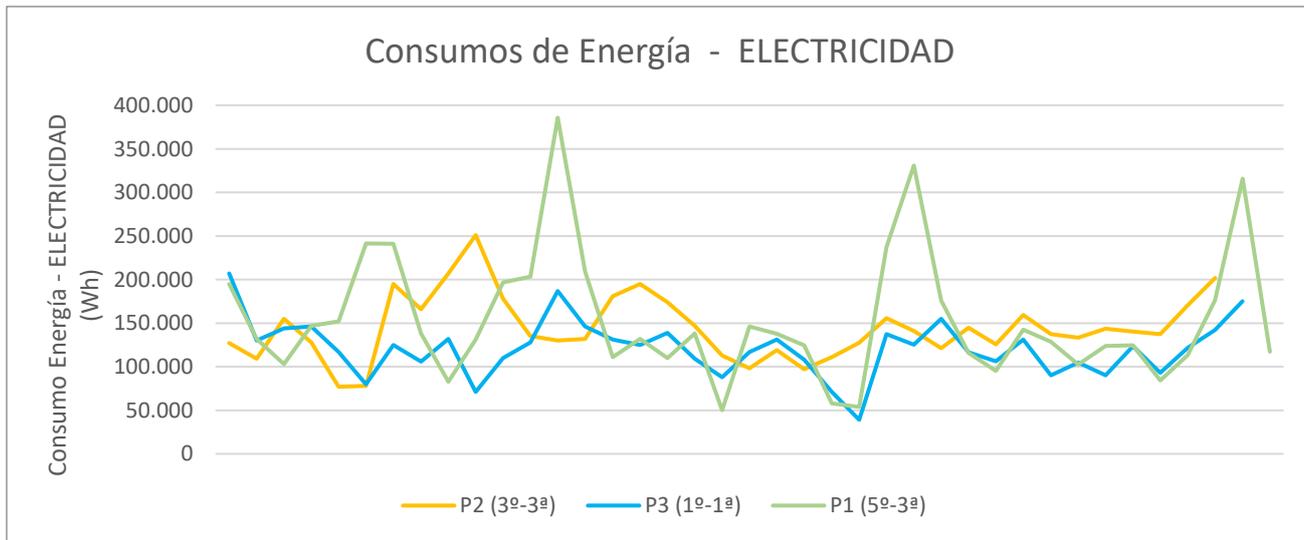
También se han señalado en la tabla el inicio de la Pandemia y la guerra de Ucrania, factores condicionantes del consumo energético.

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
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
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
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	33	31/03/2020 03/05/2020	251.000	7,61	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
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
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	50.000	1,85
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
28	14/04/2021 12/05/2021	108.000	3,86	120,00	28 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
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
94,00	30 11/10/2021 10/11/2021	106.368	3,55	94,00	27 31/10/2021 27/11/2021	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
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 22. Consumos de ELECTRICIDAD facturados en periodos contemplados

5.10.1. Consumo TOTAL de electricidad

De acuerdo con los consumos facturados se obtiene la Gráfica 9.



Gráfica 9. Consumos eléctricos según facturas

En la *Tabla 23* 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 Anuales P1 (5 ^o -3 ^a)					
	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 Anuales P2 (3 ^o -3 ^a)					
	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 Anuales P3 (1 ^o -1 ^a)					
	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 23. 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 22* y la *Gráfica 9* 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 m² 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 m² de vivienda.

Consumos de ELECTRICIDAD Anuales por m² P1 (5 ^o -3 ^a)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.964	1.893	1.713
Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m² (kWh/m²año)	42,07	40,57	36,70
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m ²)	46,67		

Consumos de ELECTRICIDAD Anuales por m² P2 (3 ^o -3 ^a)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.806	1.780	1.757
Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m² (kWh/m²año)	38,70	38,14	37,64
Superficie P2 (3 ^o -3 ^a) (m ²)	46,67		

Consumos de ELECTRICIDAD Anuales por m² P3 (1 ^o -1 ^a)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.496	1.528	1.400
Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m² (kWh/m²año)	34,23	34,98	32,03
Superficie P3 (1 ^o -1 ^a) (m ²)	43,7		

Tabla 24 Consumos anuales de electricidad por m² en viviendas

5.10.2. 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 sí 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 m² (kWh/m²año) 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^o-1^a), 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 25* y la *Tabla 26*.

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

Tabla 25. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P1 (5^o-3^a)

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

Tabla 26. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P3 (1º-1ª)

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 9* 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 9*) 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 asilado 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.

5.10.3. Consumo de electricidad para calefacción

Solo en dos de las 14 viviendas la calefacción es eléctrica (ver Tabla 6). 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.

5.11. 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

5.11.1. Emisiones anuales de CO2 por consumo de gas

En la *Tabla 27* se detallan las emisiones de CO2 anuales y por m² 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.

Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P1 (5^o-3^a)		19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)		1.316	808	1.125	-14,5%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)		28,20	17,31	24,11	
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m2)	46,67				
Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P2 (3^o-3^a)		19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)		535	396	314	-41,3%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)		11,45	8,48	6,72	
Superficie P2 (3 ^o -3 ^a) (m2)	46,67				
Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P3 (1^o-1^a)		19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)		1.083	1.326	1.017	-6,1%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)		24,78	30,35	23,26	
Superficie P3 (1 ^o -1 ^a) (m ²)	43,7				

Tabla 27. Emisiones anuales y por m² de CO2 de cada vivienda debidas al consumo de gas

5.11.2. Emisiones anuales de CO2 debidas al ACS (gas)

Emisiones de CO2 anuales debidas a ACS (gas) (kgCO2)				Porcentaje de ahorro de emisiones de CO2 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 P1 (5^o-3^a)	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	386,64	434,94	300,28	-22,3%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	8,28	9,32	6,43	
Superficie P1 (5 ^o -3 ^a) (m2)	46,67			
Emisiones de CO2 P2 (3^o-3^a)	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	67,57	34,96	16,76	
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	1,45	0,75	0,36	
Superficie P2 (3 ^o -3 ^a) (m2)	46,67			
Emisiones de CO2 P3 (1^o-1^a)	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	118,24	122,35	67,04	
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	2,71	2,80	1,53	
Superficie P3 (1 ^o -1 ^a) (m ²)	43,7			

Tabla 28. Emisiones de CO2 anuales en cada vivienda debidas al consumo de ACS (gas)

5.11.3. 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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	19,92	7,99	17,67	
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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	10,57	7,73	6,36	
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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	22,08	27,55	21,73	
Superficie P3 (1º-1º) (m ²) 43,7				

Tabla 29. Emisiones de CO2 anuales en cada vivienda debidas a calefacción (gas)

5.11.4. 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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	10,60	10,22	9,25	
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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	9,75	9,61	9,48	
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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	8,63	8,81	8,07	
uperficie P3 (1º-1º) (m ²) 43,7				

Tabla 30. Emisiones anuales de CO2 anuales debidas al consumo eléctrico

5.11.5. 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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	2,78	2,70	1,93	
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%
Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m²año)	0,77	0,35	0,99	
Superficie P3 (1º-1º) (m ²) 43,7				

Tabla 31. Emisiones de CO2 anuales debidas a la refrigeración eléctrica

5.12. 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 32 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%
PANDEMIA	636.000	Primavera 2020	0,0%
	550.000	Otoño 2020	-13,5%
	454.526	Primavera 2020	-28,5%

Tabla 32. 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.

5.12.1. 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 33). 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 (1ª-1ª)	P2 (3ª-3ª)	P1 (5ª-3ª)
Año Edificio SIN rehabilitar	Verano 2019	165.000	128.000	157.000
		207.000	127.000	195.000
	Otoño 2019	130.000	109.000	132.000
		144.000	155.000	103.000
	Invierno 19-20	146.000	128.000	147.000
		117.000	77.000	152.000
PANDEMIA	80.000	78.000	241.400	
	125.000	195.000	241.000	
Primavera 2020	106.000	166.000	138.187	
	132.000	207.000	82.665	
Año obras rehabilitación	Verano 2020	71.000	251.000	131.282
		110.000	178.000	196.666
	Otoño 2020	128.000	135.000	203.323
		187.000	130.000	385.671
	Invierno 20-21	146.000	132.000	209.141
		131.000	181.000	110.813
Primavera 2021	125.000	195.000	131.865	
	139.000	174.000	110.075	
Verano 2021	109.000	147.000	138.251	
	88.000	113.000	50.000	
Otoño 2021	117.000	98.000	146.000	

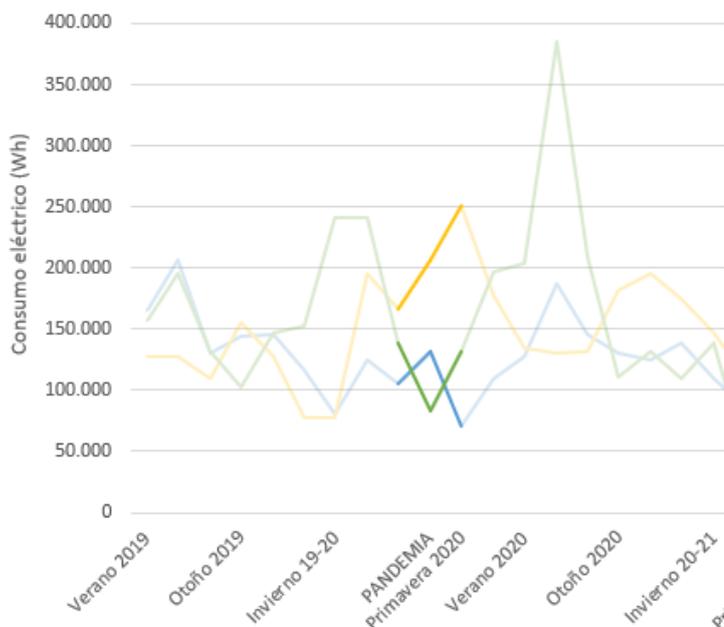


Tabla 33. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de pandemia

5.12.2. 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 (1ª-1ª)	P2 (3ª-3ª)	P1 (5ª-3ª)
Año Edificio SIN rehabilitar	Primavera 2019	693	104	299
	Verano 2019	138	23	126
		93	12	115
	Otoño 2019	475	220	439
		1.474	1.149	2.299
	Invierno 19-20	2.105	520	1.623
PANDEMIA		69	173	483
Año obras rehabilitación	Verano 2020	81	46	265
		46	35	149
	Otoño 2020	680	173	275
		2.612	1.086	1.242
	Invierno 20-21	1.268	207	803
		Primavera 2021	576	46
Verano 2021	81	23	288	

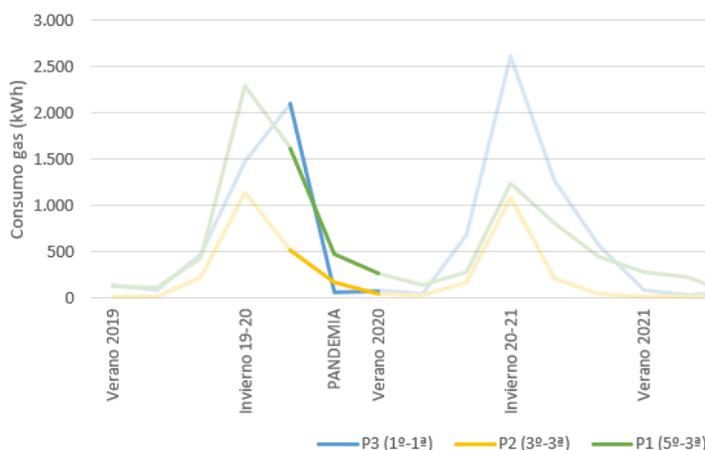


Tabla 34. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de pandemia

5.12.3. 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 (1º-1ª)	P2 (3º-3ª)	P1 (5º-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	
Año edificio rehabilitado	Invierno 21-22	131.132	159.395	142.391	
		90.208	137.467	128.395	
		104.914	133.196	102.505	
	Primavera 2022	GUERRA	90.250	143.596	123.757
		123.505	140.478	124.536	
		92.898	137.459	84.073	
Verano 2022	121.739	170.453	113.173		
	142.252	201.782	176.365		
	174.979		315.858		
				117.086	

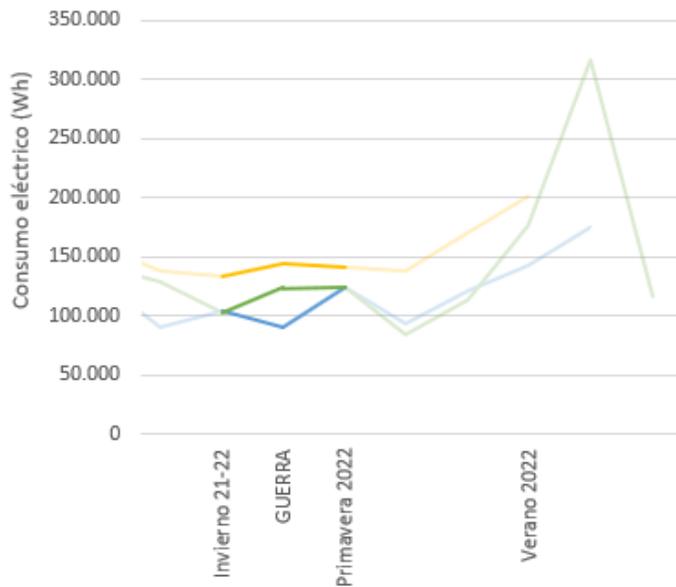


Tabla 35. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de guerra

5.12.4. 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 (1º-1ª)	P2 (3º-3ª)	P1 (5º-3ª)	
Año obras rehabilitación	Invierno 20-21	2.612	1.086	1.242	
		1.268	207	803	
		576	46	447	
Año edificio rehabilitado	Verano 2021	81	23	288	
		35	12	230	
		67	35	46	
Año edificio Rehabilitado	Otoño 2021	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

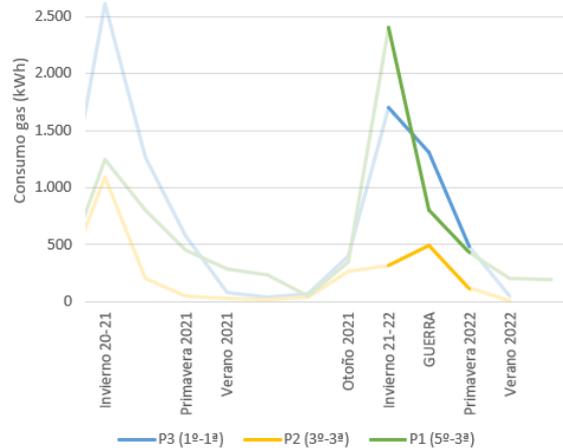


Tabla 36. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de guerra

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 14 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).

Figura 14. Facturas A y B de electricidad de la vivienda P2

Las facturas de gas de la Figura 15 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.

A		B	
DETALLE DE LA FACTURA		DETALLE DE LA FACTURA	
GAS NATURAL			
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	
Imppto.HC general (#)	230 kWh x 0,00234 Eur/kWh	Imppto.HC general (#)	195 kWh x 0,00234 Eur/kWh
Importe total		Importe total	
IVA normal (21%)	21% sí/ 32,70	IVA normal (21%)	21% sí/ 29,98

Figura 15. Facturas A y B de gas de la vivienda P1

6. NIVEL DE EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO ALCANZADOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En esta sección se reflejan los resultados obtenidos a nivel de edificio. El detalle y desarrollo se puede consultar en el ANEXO V *Eficiencia y ahorro energético alcanzado*.

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.

6.1. 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).

6.1.1. Criterios de clasificación de las viviendas del edificio y método de extrapolación

Para aplicar el consumo energético y las emisiones de CO₂ 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 ^o -3 ^a) y P3 (1 ^o -1 ^a). Se les asigna la media de los valores de las viviendas P1 (5 ^o -3 ^a), P2 (3 ^o -3 ^a) y P3 (1 ^o -1 ^a).
Tipo 2	Viviendas bajo cubierta que comparten orientación con P3 (1 ^o -1 ^a). Se le asigna la media de los valores de las viviendas P1 (5 ^o -3 ^a) y P3 (1 ^o -1 ^a).
Tipo 3	Todas las viviendas intermedias que comparten orientación y tamaño con la vivienda monitorizada P2 (3 ^o -3 ^a). Se les asigna los mismos datos que a la vivienda P2 (3 ^o -3 ^a).
Tipo 4	Viviendas que comparten orientación con P2 y P3 (Viviendas p-2 ^a) Se les asigna la media de los valores de las viviendas P2 (3 ^o -3 ^a) y P3 (1 ^o -1 ^a)
Tipo 5	Viviendas que comparten orientación con vivienda P3 (1 ^o -1 ^a) (Viviendas p-1 ^a). Se les asigna los mismos datos que a la vivienda P3 (1 ^o -1 ^a).

Tabla 37. Características y criterios de clasificación de las viviendas del edificio

- Acorde a las características y criterios señalados en la Tabla 37 se obtiene la Tabla 38 que indica la clasificación de cada vivienda del edificio en función de las viviendas monitorizadas (las peculiaridades de las viviendas 5^o-1^a, 5^o-1^a y 5^o-1^a están indicadas en la Tabla 6 de la sección *Selección y características de tres viviendas del inmueble objeto del estudio*).

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

Tabla 38. Clasificación de cada vivienda en función de las viviendas monitorizadas

Con el método indicado se infieren al bloque los diferentes valores de consumos energéticos de las viviendas de muestra. El resultado de cada dato inferido se puede consultar en el anexo V *Eficiencia y ahorro energético alcanzado*.

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

6.2.1. Consumos antes de rehabilitación.

Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Consumos sin REHABILITAR	Consumos Edificio (según FACTURAS)
		Calefacción (gas) (kWh/m ² año)	62,69
	Calefacción (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido	
	ACS (gas) (kWh/m ² año)	10,74	

	ACS (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido	
	Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	4,03	
	Por Combustible fósil (gas) (kWh/m ² año)		73,44
	Por consumo eléctrico (kWh/m ² año)		43,69
	TOTAL Energía (kWh/m²año)		117,13
	Emisiones CO2 (kgCO2/m²año)		
	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m ² año)	16,04	
	Por ACS (gas) (kgCO2/m ² año)	2,71	
Emisiones CO2 (kgCO2/m ² año)	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m ² año)	1,33	
	Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m ² año)		18,51
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m ² año)		14,46
	TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m²año)		32,97

Tabla 39. Consumos energéticos y emisiones de CO2 del edificio SIN rehabilitar

6.2.2. Consumos tras rehabilitación

		Consumos REHABILITADO	Consumos Edificio (según FACTURAS)	
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Energía Final C_ef (kWh/m ² año)	Calefacción (gas y elec) (kWh/m ² año)	55,00	
		ACS (gas y elec) (kWh/m ² año)	6,12	
		Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	4,02	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m ² año)		61,12
		Por consumo eléctrico (kWh/m ² año)		41,07
		TOTAL Energía (kWh/m²año)		102,19
		Emisiones CO2 Edificio		
Emisiones CO2 (kgCO2/m ² año)	Por Calefacción (gas y elec) (kgCO2/m ² año)	13,86		
	Por ACS (gas y elec) (kgCO2/m ² año)	1,54		
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m ² año)	1,33		
	Por combustible fósil (gas) (kgCO2/m ² año)		15,40	
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m ² año)		13,59	
	TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m²año)		29,00	

Tabla 40. Consumos energéticos y emisiones de CO₂ del edificio rehabilitado

6.3. Nivel de eficiencia y ahorro energético alcanzados

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

Consumos Edificio (según FACTURAS)	Antes Rehabilitación	Tras rehabilitación	Diferencia
Calefacción (gas) (kWh/m ² año)	62,69	55,00	-12,27%
ACS (gas) (kWh/m ² año)	10,74	6,12	-43,03%
Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	4,03	4,02	-0,19%

Tabla 41. 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.

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.

6.3.2. 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%
TOTAL Energía (kWh/m2año)	117,13	102,19	-12,75%

Tabla 42. 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.

6.3.3. 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 43. Disminución de emisiones de CO₂ totales

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).

6.4. 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 duda que se plantea de acuerdo a tan modestos ahorros energéticos es si la inversión realizada es rentable.

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.

6.4.1. 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.

6.4.2. Factores que cuestionan los resultados obtenidos

Contar para la evaluación de consumos únicamente con facturas bimensuales y mensuales imponen **márgenes de error elevados** 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

Las facturas de gas anteriores al año de la pandemia, muestran consumos muy superiores a los consumos del primer invierno con el edificio totalmente rehabilitado. Ver Tabla 44.

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).

CONSUMO GAS								
Consumos GAS Facturados de Fecha inicio a Fecha fin		P1 (5 ^o -3 ^a)		P2 (3 ^o -3 ^a)		P3 (1 ^o -1 ^a)		
		m ³	kWh	m ³	kWh	m ³	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	
29/05/2018	27/07/2018				0		115	Verano 2018
27/07/2018	24/09/2018				12		69	
24/09/2018	22/11/2018				290		718	
22/11/2018	31/12/2018				782		1.431	Invierno 18-19
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 44. 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^o-3^a) 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.

7. MODELIZACIÓN EN HULC DEL EDIFICIO Y RESULTADOS SIMULACIÓN

Esta sección reúne la caracterización y modelización energética en HULC del edificio objeto del estudio y los resultados obtenidos tras su simulación. Para ver los detalles de la caracterización del inmueble consultar el ANEXO VI *Modelización en HULC del Edificio y Resultados Simulación*. y el libro Excel.

Los detalles de cálculos y datos utilizados en la modelización están recogidos en la hoja de cálculo Excel: ***Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx***

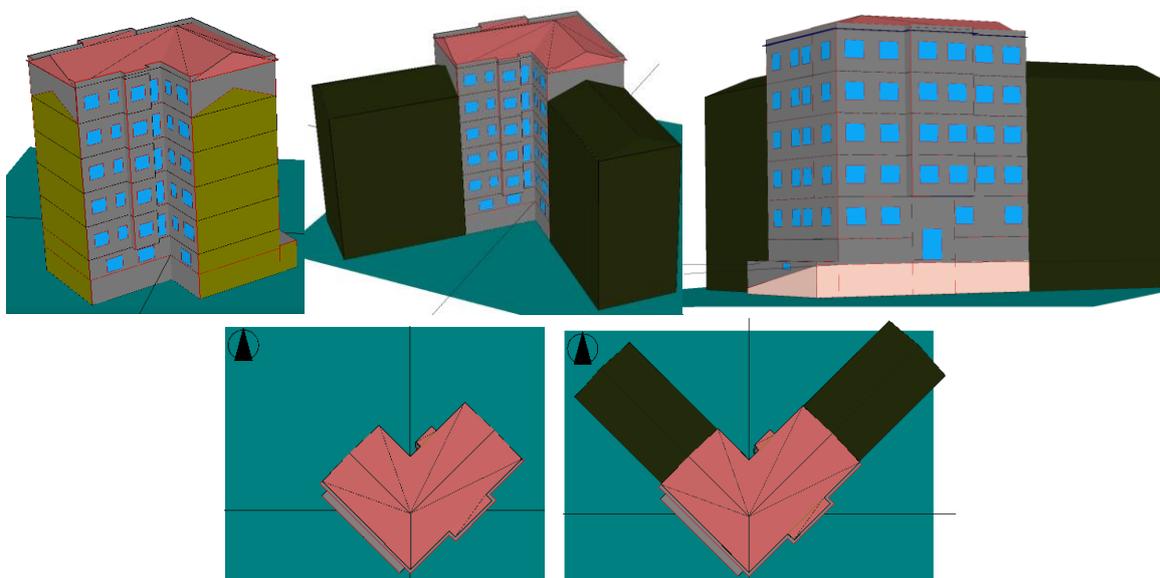


Figura 16. Modelización en HULC edificio

7.1. Calificación energética del edificio sin rehabilitación

7.1.1. Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m²año	115,12	23,42	27,96	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m²año	125,68	9,78	30,00	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m²año	173,40	23,15	40,26	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m²año	164,68	19,10	38,57	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m²año	8,72	4,05	1,69	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m²año	33,24	3,24	7,86	-	0,00	-

Fig. 1 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/m²año por la superficie útil del edificio (654,95 m²).

Los consumos de Energía Primaria Total, Primaria No Renovable, Primaria Renovable y Emisiones de CO₂ 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.

7.1.2. Calificación energética del edificio sin rehabilitación

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO ₂ /m ² ·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. 2 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/m²año) como en Emisiones de CO₂ debidas al gas de la calefacción y el ACS (letra E: 44,33 kgCO₂/m²año).

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 ² año)		Demanda de refrigeración (kWh/m ² año)	

Fig. 3 Demandas de calefacción y refrigeración.

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

7.2. Resultados. Simulación Edificio tras rehabilitación

7.2.1. Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m²año	66,73	19,88	27,96	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m²año	72,79	8,36	30,27	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m²año	100,41	19,81	40,91	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m²año	95,36	16,34	39,10	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m²año	5,05	3,46	1,80	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m²año	19,25	2,77	7,95	-	0,00	-

Fig. 4. Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación

7.2.2. Calificación energética del edificio tras rehabilitación

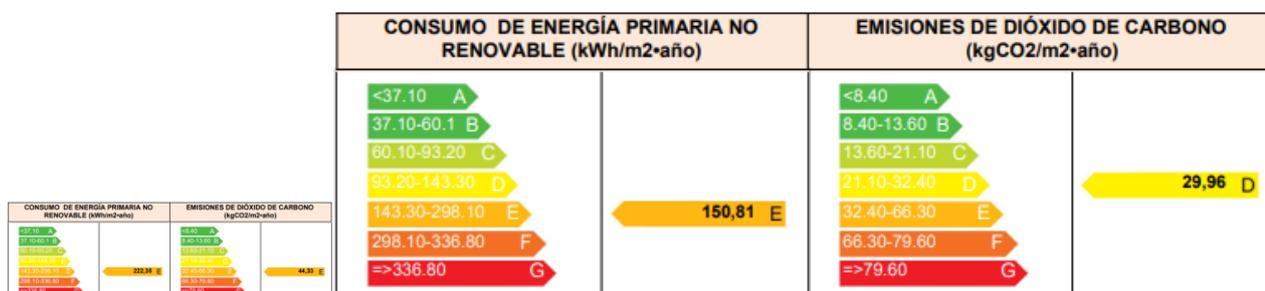


Fig. 5 Calificación energética del edificio con SATE y nuevas ventanas.

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/m²año), el valor de este parámetro ha disminuido; mientras que en Emisiones de CO₂, debidas al gas de calefacción y ACS, se ha conseguido mejorar la letra de certificación (letra D: 29,96 kgCO₂/m²año).

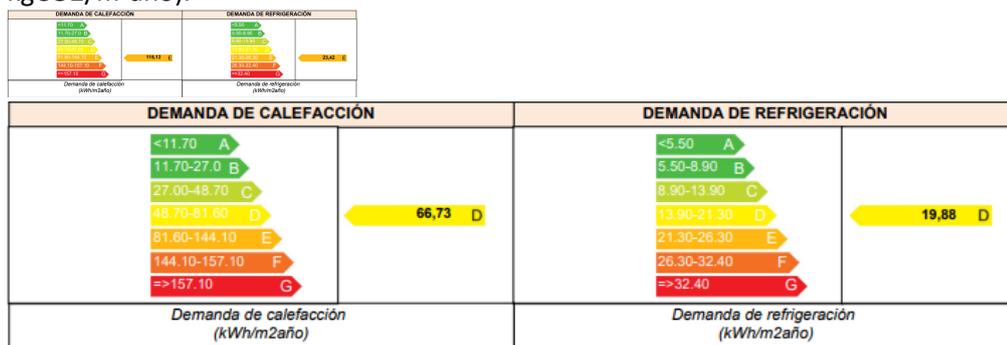


Fig. 6 Demandas de calefacción y refrigeración con SATE y nuevas ventanas.

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/m²año y la demanda de energía eléctrica en refrigeración obtiene también letra D: 19,88 kWh/m²año.

7.3. Resumen de resultados simulación antes y después de rehabilitación

La Tabla 45 y Tabla 46 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/m ² año)	Energ Prim NO Ren C_ep;nren (kWh/m ² año)	Demanda D (kWh/m ² año)	
Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)	Energía Final C_ef (kWh/m ² año)	Calefacción (gas) (kWh/m ² año)	110,7		146,84	115,12
		Calefacción (elec) (kWh/m ² año)				
		ACS (gas) (kWh/m ² año)	30		38,57	27,96
		ACS (elec) (kWh/m ² año)				
		Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	3,16		6,18	23,42
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m ² año)		117,14		
		Por consumo eléctrico (kWh/m ² año)		26,74		
		TOTAL Energía (kWh/m²año)	143,86	143,88	191,59	
				Emisiones Edificio. HULC		
				Emisiones CO2 (kgCO2/m²año)		
	Emisiones CO2 (kgCO2/m ² año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m ² año)	29,46			
		Por ACS (gas) (kgCO2/m ² año)	7,86			
		Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m ² año)	1,05			
Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m ² año)			29,52			
Por consumo eléctrico (kgCO2/m ² año)			8,85			
TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m²año)		38,37	38,37			

Tabla 45. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado sin rehabilitación

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

Tabla 46. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado tras rehabilitación

8. 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. los detalles de dicha comparación están recogidos en el ANEXO VII *Comparación resultados con simulación en HULC*.

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

8.1. Resultados ANUALES. Edificio

8.1.1. 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/m² año)	Demanda D (kWh/m2año)		
Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Calefacción (gas) (kWh/m2año)	62,69		125,68		164,68	115,12	
		ACS (gas) (kWh/m2año)	10,74		30,00		38,57	27,96	
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,03		9,78		19,10	23,42	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		73,44		132,14			
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		43,69		33,32			
		TOTAL Energía (kWh/m2año)		117,13		165,46	165,47	222,35	
		Emisiones CO2 Edificio			Emisiones CO2 Edificio				
Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	16,04		33,24					
	Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)	2,71		7,86					
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)	1,33		3,24					
	Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)		18,51		33,30				
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)		14,46		11,03				
	TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)		32,97		44,34	44,33	44,33		

8.1.2. 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		72,79		95,36	66,73	
		ACS (gas) (kWh/m2año)	6,12		30,27		39,1	27,96	
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,02		8,36		16,37	19,88	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		61,12		87,58			
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		41,07		23,87			
		TOTAL Energía (kWh/m2año)		102,19		111,42	111,45	150,83	
		Emisiones CO2 Edificio			Emisiones CO2 Edificio				
Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	13,86		19,25					
	Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)	1,54		7,95					
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)	1,33		2,77					
	Por combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)		15,40		22,07				
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)		13,59		7,90				
	TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)		29,00		29,97	29,97	29,97		

8.2. 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
 - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración
 - Comparación de consumos por fuente energética
 - Comparativa Emisiones de CO₂
- Comparación anual. Viviendas
 - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración
 - Comparación de consumos por fuente energética
 - Comparativa Emisiones de CO₂
- Comparativa mensual. Edificio
 - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración
 - Comparación de consumos por fuente energética
 - Comparativa Emisiones de CO₂
- Comparativa mensual. Viviendas
 - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración
 - Comparación de consumos por fuente energética
 - Comparativa Emisiones de CO₂

Se plasman aquí algunas de ellas con los comentarios pertinentes. Todas las diferencias porcentuales, entre consumos reales y consumos simulados, mayores al 50% se han destacado en **rojo**.

8.3. 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.

8.3.1. 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		
Calefacción (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido	110,70	77%
ACS (gas) (kWh/m2año)	10,74		
ACS (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido	30,00	179%
Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,03	3,16	-22%

Tabla 47. 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 ₂ /m ² año)	73,44	117,14	60%
Por consumo eléctrico (kgCO ₂ /m ² año)	43,69	26,74	-39%

Tabla 48. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Sin rehabilitación

Comparativa Emisiones de CO₂

Emisiones CO ₂ Año. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
TOTAL Emisiones CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año)	32,97	38,37	16%

Tabla 49. Comparativa Emisiones de CO₂. 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 ² año)	55,00	64,62	17%
Calefacción (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido		
ACS (gas) (kWh/m ² año)	6,12	30,27	395%
ACS (elec) (kWh/m ² año)	Desconocido		
Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	4,02	2,74	-32%

Tabla 50. 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 ₂ /m ² año)	61,12	79,40	30%
Por consumo eléctrico (kgCO ₂ /m ² año)	41,07	18,22	-56%

Tabla 51. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Edificio Rehabilitado

Comparativa Emisiones de CO₂

Emisiones CO ₂ Edificio ANUAL	Facturas	HULC	Diferencia
TOTAL Emisiones CO ₂ (kgCO ₂ /m ² año)	29,00	26,05	-10%

Tabla 52. Comparativa Emisiones de CO₂. 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 CO₂
- Las emisiones de CO₂ son mayores en HULC en el edificio sin rehabilitación y mayores en facturas con el edificio completamente rehabilitado.

8.4. Comparativa mensual. Edificio

8.4.1. 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%
TOTAL AÑO	54,95	64,41	17%	TOTAL AÑO	6,09	30,47	400%

Tabla 53. Consumos de energía mensual del edificio por servicios (calefacción y ACS)

En el análisis de la *Tabla 53* 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

8.5. 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.

8.5.1. 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-1º)	Facturas	HULC	Diferencia	Consumos mes P2 (3º-3º)	Facturas	HULC	Diferencia	Consumos mes P1 (5º-3º)	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%
TOTAL AÑO	92,26	99,76	8%	TOTAL AÑO	26,65	77,84	192%	TOTAL AÑO	95,28	94,65	-1%

. Comparativa Facturas – HULC (PostCALENER) de consumos de gas mensuales por viviendas

8.5.2. 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-1º)	Facturas	HULC	Diferencia	Emisiones CO2 mes P2 (3º-3º)	Facturas	HULC	Diferencia	Emisiones CO2 mes P1 (5º-3º)	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%
TOTAL AÑO	23,25	25,14	8%	TOTAL AÑO	6,72	19,62	192%	TOTAL AÑO	24,01	23,85	-1%

. 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.

8.5.3. Resultados en edificio y viviendas seleccionadas tras rehabilitación.

		Facturas viviendas Avda. Rodríguez Ayuso			
		P1 (5 ^a -3 ^a)	P2 (3 ^a -3 ^a)	P3 (1 ^a -1 ^a)	Edificio
		Energía Final C_ef (kWh/m ² año)			
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Calefacción (gas) (kWh/m ² año)	70,13	25,25	86,23	55,00
	Calefacción (elec) (kWh/m ² año)	No hay sistema de calefacción eléctrica en pisos monitorizados			
	Refrigeración (elec) (kWh/m ² año)	5,82	-	2,80	4,02
	ACS (gas) (kWh/m ² año)	25,53	1,43	6,09	6,12
	ACS (elec) (kWh/m ² año)	No hay sistema de ACS eléctrica en pisos monitorizados			
	Por consumo eléctrico (kWh/m ² año)	36,70	37,64	32,03	41,07
	Por Combustible fósil (gas) (kWh/m ² año)	95,67	26,67	92,32	61,12
	TOTAL Energía (kWh/m ² año)	132,37	64,31	124,35	102,19
		P1 (5 ^a -3 ^a)	P2 (3 ^a -3 ^a)	P3 (1 ^a -1 ^a)	Edificio
		Emisiones CO2 (kgCO2/m ² año)			
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m ² año)	17,67	6,36	21,73	13,86
	Por Calefacción (elec) (kgCO2/m ² año)	No hay sistema de calefacción eléctrica en pisos monitorizados			
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m ² año)	1,93	-	0,93	1,33
	Por ACS (gas) (kgCO2/m ² año)	6,43	0,36	1,53	1,54
	Por ACS (elec) (kgCO2/m ² año)	No hay sistema de ACS eléctrica en pisos monitorizados			
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m ² año)	12,15	12,46	10,60	13,59
	Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m ² año)	24,11	6,72	23,26	15,40
	TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m ² 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.

9. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE LAS POSIBLES DESVIACIONES

En esta Sección se determinan las causas que propician las diferencias entre los resultados provenientes de los datos reflejados en facturas y la de los reflejados en la simulación realizada en HULC. Para más detalles consultar el ANEXO VIII TFM *Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones*.

9.1. Causas de las desviaciones observadas

Las desviaciones, algunas de ellas muy elevadas, tan grandes entre los datos arrojados por las facturas y los devueltos por HULC pueden venir, entre otras, de las siguientes causas:

9.1.1. 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 como se puede ver en la Tabla 54).

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 54) (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).

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	102,19	111,42	111,45

Tabla 54. Comparación de consumos en edificio rehabilitado según facturas y según HULC

9.1.2. 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* [30], 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 17) razones suficientes por las que se eligió la caracterización en HULC de esta solución constructiva.

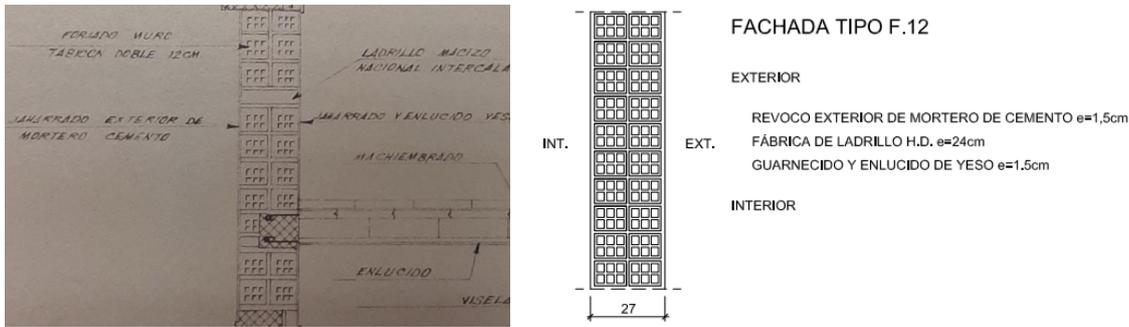


Figura 17. Pano original muro fachada y muro fachada artículo

Sin embargo en una de las visitas realizadas a los vecinos del inmueble, la observación de la contraventana del piso P3 (1^o-1^a) denotó un ancho de muro superior al caracterizado (Figura 18), 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 cual 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 18. Muro en doble ventana 1^o-1^a

9.1.3. Pobreza energética y ausencias prolongadas 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 [31]. 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^o-3^a) 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).

9.1.4. 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 las viviendas diferentes.

Piso	Superficie según proyecto (m ²)	Superficie según Planos (m ²)	Superficie según HULC (m ²)	Superficie según Catastro (m ²)
P1 (5 ^o - 3 ^a)	46,67	51,97	57,00	57,00
P2 (3 ^o - 3 ^a)	46,67	51,97	57,00	57,00
P3 (1 ^o - 1 ^a)	43,7	45,66	54,00	54,00

Tabla 55. 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 a partir de planos DXF realizados tratando de conciliar las dimensiones del edificio en los planos con las indicadas en el catastro municipal.

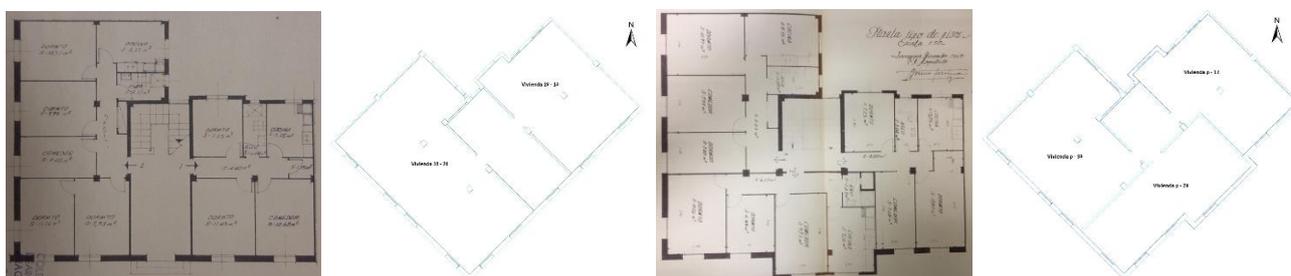


Figura 19. Planos originales y planos DXF

9.1.5. 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 56, 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 m ³ /h	813,6
Renov. total (m ³)		1556,5
Renovac. hora (ren/h)		0,52

Tabla 56. 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%).

9.1.6. Suposiciones realizadas que restan precisión a los resultados

9.1.6.1. Calefacción y ACS por gas

Las calderas de las viviendas motorizadas mostradas en la Tabla 7 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 viviendas 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 57 del anexo II *Viviendas Monitorizadas* es otra diferente (donde la media de ocupación está en 3 personas).

9.1.6.2. 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.

9.1.6.3. Sistemas de refrigeración.

Se conocen las características de los sistemas de refrigeración de las viviendas monitorizadas (Tabla 8, sección *Viviendas monitorizadas* (Anexo II *Viviendas monitorizadas*) para los otros tres sistemas que dispone el edificio se han supuesto los datos (Tabla 9) y estos son los introducidos en el programa HULC.

10. CONCLUSIONES

Las primeras conclusiones a las se llega son:

Dado que hay **dudas respecto al nivel de eficiencia energética alcanzado** por la envolvente una conclusión acertada **sería alargar el estudio del comportamiento térmico del inmueble durante un año más** dotando a ese estudio de **mayores recursos** para, por ejemplo, poder medir consumos de gas y electricidad por medio de sondas en los contadores que permitan mediciones en tramos horarios o incluso menores a la hora. Además, dado que el edificio constituye una parte de más bloques construidos dentro del mismo proyecto con los mismos materiales y la misma época, da la posibilidad de contrastar los resultados en las viviendas rehabilitadas con viviendas de la misma tipología y características sin rehabilitar.

Otra conclusión tiene que ver con la elección de las viviendas de muestra. Considero que no ha sido una elección muy representativa o significativa del resto del inmueble. Dos de las viviendas estaban ocupadas por una sola

persona. En ambos casos viudas de edad avanzada, una de salud frágil con temporadas ausente del hogar, lo cual da como resultados unos gastos de energía muy por debajo a lo que daría una vivienda media y a los reflejados por la herramienta HULC. Por otro lado los usuarios de la vivienda bajo cubierta (P1 5º-3ª) tienen hábitos energéticos muy extremos que se alejan de la media; altas temperaturas de consigna en invierno (se alcanzan picos de 27 °C en los días más fríos del año) o no bajar persianas ni cerrar ventanas a mediodía en plena ola de calor, estos actos dan como resultado comportamientos térmicos de la vivienda que no ayudan a reflejar la eficiencia de la rehabilitación y los ahorros energéticos que se pueden conseguir con la nueva envolvente.

Los periodos anuales elegidos para el estudio de la eficiencia son los que tienen que ser pero no son los más idóneos para determinar la eficiencia energética alcanzada en un edificio ya que el año anterior a la rehabilitación quedó marcado por la pandemia y el año tras ella con las consecuencias de una Guerra y crisis energética.

10.1.1. Resumen de incidencias y limitaciones en el desarrollo del trabajo

- La principal limitación a la hora de analizar los resultados obtenidos y evaluar el ahorro energético conseguido parten del hecho de que cuando comenzaron las monitorizaciones en las viviendas de muestra, casi todas las intervenciones ya estaban realizadas o a punto de finalizar con lo que los únicos registros, anteriores a la rehabilitación del edificio, con que se cuenta son los consumos de gas y electricidad obtenidos por medio de facturas. Facturas bimensuales (gas) y mensuales (electricidad) con la imposibilidad de asociar comportamientos térmicos concretos con consumos concretos e introduciendo cierto grado de error en el estudio al no disponer de datos más precisos.
- En trabajos de este tipo es indispensable que se haga un seguimiento de las sondas instaladas en las viviendas para reparar, en el menor tiempo posible las posibles, deficiencias en el funcionamiento o falta de señal y datos en sensores. En el presente trabajo hay demasiados periodos en que una o dos sondas no han funcionado y su reparación se ha demorado, lo que ha implicado que no siempre haya sido posible elegir los periodos de estudio más representativo del aspecto que se quería analizar
- Algunos de los análisis de monitorizaciones se hicieron antes de las entrevistas y de obtener todas las facturas de gas y electricidad, llevando a conclusiones no del todo acertadas, por ejemplo; los bajos consumos en la vivienda P2 no eran solo debidos a bajas temperaturas de consigna, a la rehabilitación realizada o a ser una vivienda en entreplantas. También se debieron a periodos en los que la vivienda no estuvo ocupada.
- El contacto con los vecinos de las viviendas monitorizadas no ha sido fácil, en algunos casos ha sido complicada la colaboración, ya sea por la edad, por su situación personal, por su salud o por el grado de colaboración de algunos.
- Se ha intentado en dos ocasiones, sin éxito, medir la transmitancia térmica del muro fachada de una de las viviendas seleccionadas en el estudio.
- 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.

10.1.2. Recomendaciones

Dadas las dudas sobre la eficiencia energética obtenida tras la rehabilitación del edificio se recomienda **alargar el estudio** de los consumos energéticos teniendo en cuenta las limitaciones ya mencionadas.

Continuar con estudio del bloque permitiría analizar no solo el efecto de la envolvente térmica en consumos, sino también los efectos a largo plazo de la crisis energética producida por la guerra de Ucrania.

Respecto a los usuarios del edificio, particularmente los de las viviendas visitadas, de cara a un mayor ahorro energético, se recomienda:

- Vivienda P1. Cerrar ventanas en verano.
- Vivienda P1 y P3. Bajar la temperatura de consigna en invierno.
- Cambiar las calderas estancas en el edificio por calderas de condensación.
- No apagar la caldera por la noche o no bajar en exceso el termostato, dejar la temperatura de consigna un par de grados menos que durante el día que impida la pérdida de calor alcanzado por el día.
- La última recomendación es la más barata también, consiste en recomendar la reducción de la temperatura de utilización del ACS de 60°C a 50°C. Es una medida rápida y económica de implantar ya que solo necesita de la concienciación de los usuarios y la reducción de la temperatura de utilización de cada una de las calderas del edificio.

10.1.3. Futuras líneas de trabajo.

Posibles líneas de trabajo e investigación a futuro que se plantea son:

- Una opción de mejora a futuro sería el estudio de soluciones constructivas que mejoren las pérdidas detectadas en las termografías en puentes térmicos y marcos de ventana.
- Estudios sobre los impactos que en el consumo energético en el parque de viviendas residenciales han tenido y están teniendo la pandemia mundial y la guerra de Ucrania con la consiguiente crisis energética. En la elaboración del presente trabajo no se han encontrado estudios que midan estos dos condicionantes adecuadamente.

11. REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística INE, «Censos de Población y Viviendas 2011. Viviendas,» INEbase, 2011. [En línea]. Available: <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/e244/viviendas/p01/10/&file=01011a.px&L=0>. [Último acceso: 2022].
- [2] Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES), «Informe de evaluación sobre políticas públicas de rehabilitación residencial en España,» Mañeru Asociados Comunicació, Zaragoza, 2019.
- [3] Presidencia del Gobierno, *Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.*, Madrid, 22 de octubre de 1979.
- [4] CTE, «Guía de aplicación DB HE 2019,» junio 2022. [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Guia_aplicacion_DBHE2019.pdf. [Último acceso: 2022].
- [5] F Manzano-Agugliaro et al., «Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 736-755, 2015.
- [6] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019-2024,» 2019.
- [7] EAPN ESPAÑA, «Informe de posición sobre vivienda 2020,» Abril 2020.
- [8] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España,» Junio 2020. [En línea]. Available: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/es_ltrs_2020.pdf. [Último acceso: 2020].
- [9] Presidencia del gobierno, «Real Decreto 106/2018, de 9 de marzo, por el que se regula el Plan Estatal de Vivienda 2018-2021.,» 11/03/2018.
- [10] Boletín Oficial de Aragón, «ORDEN VMV/488/2021, de 7 de mayo, por la que se convocan subvenciones para la rehabilitación de accesibilidad en edificios y viviendas, correspondientes al Plan de Vivienda 2018-2021.,» 14/05/2021.
- [11] A. d. Zaragoza, «Zaragoza Vivienda,» [En línea]. Available: <https://www.zaragozavivienda.es/#gsc.tab=0>. [Último acceso: 12 enero 2022].
- [12] Ayuntamiento de Zaragoza, «Bases reguladoras de la convocatoria de ayudas a la rehabilitación edificatoria de uso residencial,» 2019-2020. [En línea]. Available: https://www.zaragozavivienda.es/M07_REHABILITACION-URBANA/documentos/rehabilitacion-2019/BASES-COMPLETAS-AYUDAS-REHABILITACION.pdf. [Último acceso: 2020].
- [13] E. d. u. 46472/1961, *Construcción de 5 bloques en Ctra. Madrid, 48 - 50 - 52- 54 y 54 dpdo.*, Zaragoza: Seminario, 1961.
- [14] S. E. Catastro, «Información de parcela e inmuebles,» [En línea]. Available: <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCListaBienes.aspx?del=50&muni=900&rc1=3029422&rc2=XM7132G>. [Último acceso: 10 Enero 2022].
- [15] E. d. u. 46472/1961, *Construcción de 5 bloques en Ctra. Madrid, 48 - 50 - 52- 54 y 54 dpdo.*, Zaragoza: Seminario, 1961.
- [16] E. d. u. 202999/2020, *Rehabilitación de edificio y supresión de barreras arquitectónicas.*, Zaragoza: Archivo Seminario, 2020.
- [17] BOPZ, «Boletín Oficial de la Provincia de Zaragoza,» 8 mayo 2021. [En línea]. Available: https://www.ayudasrehabilitacionzaragoza.es/storage/Anuncio_y_Conocatoria_Entregas_Dineras_sin_contraprestacio%CC%81n_2021-2022.pdf.

- [18] 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].
- [19] IDAE, «Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» 2011.
- [20] Sarigas Italia, «SARIGas Riscaldamento & Climatizzazione,» [En línea]. Available: http://www.sarigas.it/file_content/download_doc/2_spa.pdf. [Último acceso: 2022].
- [21] Sanier Duval, «Sanier Duval,» [En línea]. Available: <https://www.saunierduval.es/downloads/themaclassic/themaclassic-mi-586390.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [22] 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].
- [23] Grafana Labs, «Grafana Enterprise Stack,» [En línea]. Available: <https://grafana.com/products/enterprise/>. [Último acceso: 2022].
- [24] Dragino Technology Co., LTD, «LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway,» [En línea]. Available: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/200-lps8n.html>. [Último acceso: 2022].
- [25] ELSYS.se, «ERS CO2,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.elsys.se/en/ers-co2/>.
- [26] C. C. M. C. Monné Bailo, «Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza),» Equipo investigador Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2020.
- [27] d. 2. BOE» núm. 207, *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.*, 2008.
- [28] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), «Guía de aplicación DB HE 2019,» Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Madrid, 2022.
- [29] Presidencia de gobierno, *Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de agosto, de medidas de sostenibilidad económica en el ámbito del transporte, en materia de becas y ayudas al estudio, así como de medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas*, 02/08/2022.
- [30] M. M. B. L.-M. F. Kurtz, «Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza,» *CSIC*, vol. 67, n° Num. extra (2015), 2015.
- [31] I. Z. E. e. a. J. Aranda, «Building Energy Assessment and Computer Simulation Applied to Social Housing in Spain,» *Buildings*, n° 2018.8, 11 (21pp), 16 January 2018.
- [32] 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.