

Memoria Proyecto

**REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA
UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.
ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE
INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA**

Investigadores

**María Soledad Camino Olea (IP), Alfredo Llorente Álvarez,
Alejandro Cabeza Prieto, Alberto Losa Espina.**

Convocatoria: CONVOCATORIA 2019 DE AYUDAS PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS DE I+D+i SOBRE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS EDIFICIOS UNIVERSITARIOS DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (UVa))

Programa: PROGRAMA PROPIO 2019. AYUDAS DE INVESTIGACION UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Subprograma: AYUDAS UVA PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS I+D+i 2019

Financiadores: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (UVa), U.T.E. DUQUES DE SORIA-ARCOR, S.L.U. Y HERMANOS RUBIO GRUPO CONSTRUCTOR HERCE, S.L.U

Valladolid, diciembre 2020

Índice

0 Resumen	7
1 Introducción	8
2 Normativa relativa al aislamiento térmico de los cerramientos exteriores de los edificios	9
2.1 Ámbito europeo.....	9
2.2 Ámbito español.....	9
2.2.1 En vigor cuando se redactan los proyectos. Norma Básica Edificación NBE-CT-79...	10
2.2.2 En vigor en la actualidad.....	12
2.2.3 Estudio comparativo de los parámetros térmicos de la envolvente en la normativa. ..	15
3 Estudio del estado actual de la envolvente de los edificios del Campus de Soria.	16
3.1 Documentación básica de los proyectos y parámetros térmicos de la envolvente.....	16
3.1.1 Documentación de los proyectos.....	17
3.1.2 Estudio del comportamiento térmico del edificio	24
3.1.3 Permeabilidad de la envolvente.....	39
3.1.4 Simulación simplificada del cálculo del K_{lim} para comparar demanda debida a la trasmisión térmica de los cerramientos en el estado actual con el estándar de anexo E del DB HE1 CTE.....	40
3.2 Conclusiones parciales.....	44
4 Propuesta de rehabilitación energética.	46
4.1 Criterios de intervención.	46
Cubierta, cerramiento opaco.	46
4.2 Valores de transmitancia térmica.	50
4.2.1 Cálculos teóricos de transmitancia térmica de los cerramientos opacos.....	50
4.2.2 Transmitancia térmica de huecos.....	52
4.2.3 Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.....	52
4.3 Simulación simplificada del cálculo del K_{lim} para comparar demanda debida a la trasmisión térmica de los cerramientos en el estado actual y en el estado rehabilitado.	55
4.4 Simulaciones con la Herramienta Unificada Lider Calener HULC.	59
5 Conclusiones.....	65
6 Anejo A – Puentes térmicos	67
7 Anejo B – Ensayos.....	105
8 Referencias	114

Listado de tablas

Tabla 2.1. Resumen de exigencias de la NBE-CT-79, en la zona climática de Soria.....	11
Tabla 2.2. Resumen de exigencias DB HE1 del CTE en la zona climática de Soria.....	13
Tabla 2.3. Resumen comparativo de los valores límite entre la NBE-CT 79 y el DB HE1 del CTE.....	15
Tabla 3.1. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de fachada revocado de la fase 1.....	25
Tabla 3.2. Cálculo del coeficiente K del cerramiento fachada chapada de arenisca de la fase 1.....	25
Tabla 3.3. Cálculo del coeficiente K de fachada de termoarcilla del salón de actos, fase 1.....	25
Tabla 3.4. Cálculo coeficiente K de cubierta plana con protección de grava de la fase 1	26
Tabla 3.5. Cálculo coeficiente K de cerramiento de suelo de la fase 1.....	26
Tabla 3.6. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de fachada revocado de la fase 2.....	26
Tabla 3.7. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de zócalo de hormigón visto de la fase 2	26
Tabla 3.8. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de cubierta plana de la fase 2.	27
Tabla 3.9. Cálculo del coeficiente K del suelo de las pasarelas de la fase 2.	27
Tabla 3.10. Cálculo del coeficiente K de suelo sobre losa de cimentación en la fase 2.	27
Tabla 3.11. Tabla de ensayos y resultados.....	31
Tabla 3.12. Puentes térmicos edificios fase 1, valores de transmitancia térmica lineal	37
Tabla 3.13. Puentes térmicos edificios fase 2, valores de transmitancia térmica lineal.	38
Tabla 3.14. Análisis comparativo K_{lim} estados EA y ERp, edificio fase 1.	41
Tabla 3.15. Análisis comparativo K_{lim} estados EA y ERp, edificio fase 2.	42
Tabla 4.1. Cálculo del coeficiente U cerramiento de fachada revocado de la fase 1, ER.	50
Tabla 4.2. Cálculo del coeficiente U fachada chapada de arenisca de la fase 1, ER.	50
Tabla 4.3. Cálculo del coeficiente U cerramiento del muro curvo de termoarcilla, ER.	51
Tabla 4.4. Cálculo del coeficiente U de la cubierta plana ajardinada de la fase 1, ER.	51
Tabla 4.5. Cálculo del coeficiente U cerramiento de fachada revocado de la fase 2, ER.	51
Tabla 4.6. Cálculo del coeficiente U del zócalo de hormigón visto de la fase 2, ER.	51
Tabla 4.7. Cálculo del coeficiente U del cerramiento de cubierta plana de la fase 2, ER.	52
Tabla 4.8. Puentes térmicos fase 1, transmitancia térmica lineal, gráficas temperatura, ER.	53
Tabla 4.9. Puentes térmicos fase 2, transmitancia térmica lineal, gráficas temperatura, ER.	54
Tabla 4.10. Análisis comparativo U estado actual y rehabilitado, edificio fase 1.....	56
Tabla 4.11. Análisis comparativo U estado actual y rehabilitado, edificio fase 2.....	57

Listado de figuras

Figura 3.1. Localización según la documentación del Catastro (fuente www.catastro.meh.es).	16
Figura 3.2. Fachadas del interior cuarto de círculo: izquierda fase 1, derecha fase 2.	17
Figura 3.3. Imagen conexión entre edificios. Izquierda fase 1, derecha fase 2.	17
Figura 3.4. Ficha justificativa del K_G de la NBE CT-79, del proyecto, fase 1 de construcción de los edificios, (fuente: Unidad Técnica UVa).	19
Figura 3.5. Ficha justificativa del K_G de la NBE CT-79, fase 2 de construcción de los edificios.	20
Figura 3.6. Una de las secciones constructivas del plano A-027 de Proyecto básico y de ejecución de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Soria de 22 de marzo de 1997 (fuente: Unidad Técnica UVa).	21
Figura 3.7. Sección constructiva del Proyecto básico y de ejecución del Edificio de Usos Múltiples para la Universidad de Valladolid en Soria de diciembre de 2003 (Unidad Técnica Uva).	22
Figura 3.8. A la izquierda, carpintería de la fase 1. A la derecha, carpintería de la fase 2.	23
Figura 3.9. De izquierda a derecha: placa de flujo térmico colocada, imagen térmica exterior.	29
Figura 3.10. De izquierda a derecha: placa de flujo térmico, data logger y termopar.	29
Figura 3.11. Ensayo en cerramiento de fachada tipo 2.1.	30
Figura 3.12. Valores de conductancia y transmitancia calculados según las fórmulas (1).	30
Figura 3.13: Plano de situación de los ensayos realizados.	31
Figura 3.14. Termografía e imagen exterior de la fase 1.	34
Figura 3.15. Termografía e imagen exterior de la fase 2 donde se aprecia el puente térmico de la estructura.	35
Figura 3.16. Inspección de gradientes térmicos, puente térmico del entramado de PYL.	35
Figura 3.17. Termografía, termopares y placa de flujo térmico, detalle constructivo, isoterma y termografía con Therm.	36
Figura 3.18. Resumen de los resultados de ambos edificios EA y ERp, en valores absolutos.	43
Figura 3.19. Resumen de los resultados de ambos edificios EA y ERp, en porcentaje.	43
Figura 4.1. Gráfico de temperatura y flujo de calor del 25 de mayo al 2 de junio de 2020.	48
Figura 4.2. Secciones constructivas de la propuesta. A la izquierda propuesta de rehabilitación de fase 1. A la derecha, propuesta de rehabilitación de la fase 2.	49
Figura 4.3. Resumen de los resultados de ambos edificios EA estado actual y ER estado rehabilitado en W/K.	58
Figura 4.4. Resumen de los resultados de ambos edificios EA estado actual y ER estado rehabilitado en porcentaje.	58
Figura 4.5. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1.	60
Figura 4.6. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1, temperaturas y transmisión en W.	61
Figura 4.7. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1, temperaturas y transmisión en W de los cerramientos, EA y ER.	62
Figura 4.8. Modelado con HULC del edificio 4 de la fase 2, temperaturas y transmisión en W.	63

Figura 4.9. Modelado con HULC del edificio 4 de la fase 2, temperaturas y transmisión en W.....64

Abreviaturas y acrónimos

<i>BOE</i>	Boletín Oficial del Estado
<i>BOCYL</i>	Boletín Oficial de Castilla y León
<i>CEC</i>	Catálogo de Elementos Constructivos
<i>CTE</i>	Código Técnico de la Edificación
<i>DA</i>	Documento de apoyo
<i>DB HE1</i>	Documento básico HE 1 Ahorro de energía Condiciones para el control de la demanda energética
<i>HULC</i>	Herramienta Unificada Lider Calender
<i>OM</i>	Orden Ministerial
<i>RD</i>	Real Decreto

0 Resumen

El consumo energético de los edificios es excesivo para la conservación del medio ambiente y es necesario la rehabilitación de lo construido para reducir o eliminar ese consumo de forma sostenible de manera que la rehabilitación no consuma más energía de la que se pretende ahorrar y de que se mejore la habitabilidad y el uso de los edificios rehabilitados.

El objetivo de este proyecto de investigación es analizar, en primer lugar, de forma analítica, y, en segundo lugar, mediante ensayos, el funcionamiento térmico de la envolvente de los edificios, con el fin de encontrar la mejor propuesta de rehabilitación desde distintos puntos de vista, entre los que está, evidentemente, el arquitectónico.

En este tipo de actuaciones, es importante analizar el diseño del edificio y las características de los diferentes cerramientos que forman la envolvente ya que, en la mayoría de las intervenciones de rehabilitación energética, solamente se interviene en algunos de los cerramientos de la envolvente. Lo más común es intervenir en la fachada opaca, olvidando la incidencia de cerramientos como la cubierta o los huecos de las fachadas donde suele ser menor el aislamiento térmico.

Con este proyecto se pretende hacer un estudio detallado de la envolvente, de cada zona, para buscar la respuesta más sostenible respetando la imagen arquitectónica.

1 Introducción

Como es de sobra conocido, la reducción en el consumo de energía del parque edificado es decisiva en la disminución del consumo y las emisiones de CO₂ globales. El ámbito de la Arquitectura se dirige, de forma inequívoca, a la innovación y el desarrollo de una nueva tecnología enfocada a la reducción de estas emisiones de CO₂ y del consumo energético al ser responsable, en gran medida, de la emisión de gases invernadero; no en vano, el lema del día mundial de la arquitectura del año 2017 fue “¡Actuemos contra el cambio climático!”.

La Construcción, con su gran influencia económica y social, tiene la responsabilidad de tomar las medidas necesarias para cumplir estos objetivos. Es misión de la Investigación el mostrar el camino para alcanzarlos.

Este Proyecto de Investigación posee un doble objetivo, tanto en el desarrollo del medio como en alcanzar el fin. Consideramos que, desde un punto de vista científico, debemos obtener propuestas y soluciones que cumplan el fin último de diseñar soluciones constructivas eficientes de rehabilitación de la envolvente térmica del edificio objeto dentro del Campus de Soria de la Universidad de Valladolid. Soluciones que mejoren el comportamiento higrotérmico de la envolvente con lo que se reducen las emisiones de dióxido de carbono de las instalaciones de climatización y, del mismo modo, la demanda energética del edificio en climatización.

En el DB HE1 se indican claramente los objetivos a alcanzar en lo que se refiere a los cerramientos exteriores de un edificio “*Los edificios dispondrán de una envolvente térmica de características tales que limite las necesidades de energía primaria para alcanzar el bienestar térmico en función de la zona climática de su ubicación, del régimen de verano y de invierno, del uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, del alcance de la intervención*”¹. Respecto de las actuaciones en edificios existentes, en el documento se indica en el criterio 2 “*En los casos en los que no sea posible alcanzar el nivel de prestación establecido con carácter general en este DB, podrá adoptarse soluciones que permitan el mayor grado de adecuación posible*” en la propuesta que se va a elaborar el criterio será alcanzar el nivel de prestaciones indicado en el documento. Para conseguirlo se utilizarán los siguientes parámetros que proporciona el documento:

- Los valores límite de transmitancia (U_{lim}) definidos en la tabla 3.1.1. a-HE1, para cada tipo de cerramiento de la envolvente térmica en función de las zonas climáticas de invierno.
- El coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) del edificio con uso distinto al residencial privado que no superará el valor (K_{lim}), indicado en la tabla 3.1.1.c-HE1.
- La permeabilidad al aire de la envolvente según los valores de la tabla 3.1.3.a-HE1.
- Valores orientativos de transmitancia de la tabla a-Anejo E del HE1.

Buscando varios objetivos:

- Mantener los valores arquitectónicos del proyecto.
- Definir una propuesta que permita realizar las obras de manera que los edificios puedan continuar con su uso, bien porque se interviene desde el exterior o bien porque se puedan realizar las obras por fases realizables en plazos breves de tiempo que coincidan con los tiempos en que se detiene la actividad docente.
- El último objetivo es que con la propuesta se consiga rebajar la demanda de energía en acondicionar el edificio en un 50%, aproximadamente.

Una vez definidas las propuestas de rehabilitación se realizará una simulación con HULC para evaluar las diferencias en la calificación energética y en la demanda.

2 Normativa relativa al aislamiento térmico de los cerramientos exteriores de los edificios.

La idea de confort y habitabilidad está presente en la normativa desde finales del siglo XIX, cuando se empiezan a definir las prestaciones que indicaban cuando un local podía considerarse adecuado para el uso de vivienda.

La envolvente de un edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables y se ha diseñado como una barrera para proteger el interior de los edificios del clima exterior y poder cumplir las prestaciones de salubridad, confort térmico, acústico y seguridad. Es por ello que la normativa ha fijado diversas exigencias y/o prestaciones que debían cumplir estos cerramientos. Recientemente se han incorporado otras exigencias como son la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

En este sentido es importante conocer el marco normativo en la época en la que se ha construido el edificio a rehabilitar, así como el que está en vigor en el momento en que se plantea la rehabilitación, ya que proporcionarán información sobre el aislamiento térmico que debe tener la envolvente. Al comparar ambas situaciones se puede evaluar el nivel de mejora necesario en una intervención de rehabilitación desde el punto de vista de la eficiencia energética. Los marcos normativos señalan los límites de las prestaciones y es evidente que los edificios se deberían diseñar y construir con unas prestaciones superiores a las mínimas.

2.1 Ámbito europeo.

La normativa española sigue las Directivas Europeas relativas al ahorro de energía y eficiencia energética entre las que se han enumerado las que se han dictado en este siglo:

- Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, fue publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea el 14 de noviembre de 2012. La nueva Directiva de Eficiencia Energética surge en un marco en el que se constata que la Unión Europea no va a alcanzar el objetivo de aumentar en un 20% la eficiencia energética en 2020. En este contexto ha sido necesario actualizar el marco legal de la Unión en materia de eficiencia energética, creando un marco común, mediante una Directiva que no sólo refuerce dicho objetivo, sino que también favorezca que las nuevas mejoras de eficiencia energética vayan más allá del 2020. Esta nueva Directiva repercute en todas las políticas de eficiencia energética:

Modifica la Directiva 2009/125/CE sobre requisitos de diseño ecológico aplicable a productos relacionados con la energía.

Modifica la directiva 2010/30/UE sobre etiquetado de productos relacionados con la energía.

Deroga la Directiva 2004/8/CE de fomento de la cogeneración.

Deroga la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Complementa a la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, en lo referente a la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos.

2.2 Ámbito español.

La fecha de la licencia de obras condiciona la normativa aplicable a los edificios y a lo largo del siglo pasado ha habido diversas normas que incluían exigencias en cuanto a confort y aislamiento

térmico, principalmente en las normas relativas a viviendas con algún tipo de protección, para las que se fijaba unos niveles máximos de transmitancia en función de la zona en la que eran construidas, tal y como sigue fijando la normativa actual. Así, se pueden encontrar referencias a condiciones térmicas o aislamiento térmico de los cerramientos en:

- En el Reglamento de “Casas Baratas” de 1911, en el capítulo sobre condiciones técnicas al referirse al diseño de las fachadas donde se indica que se deben conseguir “Las condiciones térmicas más convenientes y uniformes, con arreglo a la localidad” ².
- Más adelante en las Ordenanzas Técnicas y Normas Constructivas para “Viviendas de Renta Limitada”, en la ordenanza octava, se fijan valores máximo de conductibilidad para muros y cubiertas en función de las zonas climáticas: “En el primer grupo, los muros tendrán una conductibilidad inferior al 1,4: las cubiertas, cuando no comprendan locales de habitación, una conductibilidad inferior a 1,8 y en caso de ser cubiertas planas o buhardillas inferior a 1,4” ³. Donde se introduce el concepto de limitar la transmitancia de los cerramientos exteriores en función de las zonas climáticas en el año 1954.
- En las Normas de diseño de las “Viviendas de Protección Oficial”, en la ordenanza 32^a también hay una referencia al aislamiento térmico y la redacción es similar a la anterior con la diferencia de que se fijan valores inferiores y se introducen condiciones de aislamiento térmico para los suelos: “En la primera zona los muros tendrán una conductividad inferior a 1,2: las cubiertas, cuando no comprendan locales de habitación, una conductividad inferior a 1,6 y en caso de ser cubiertas planas, inferior a 1,1. En la segunda zona los aislamientos de muros y cubiertas serán, respectivamente, los que garanticen conductividades máximas de 1,6 y 1,8. En las viviendas de planta baja será obligatoria la colocación de un forjado separado del terreno un mínimo de 30 centímetros”.

Como se puede comprobar en estas normas respecto de las exigencias térmicas de los cerramientos la solución habitual ha venido siendo el indicar unos valores máximos a la conductividad o transmitancia térmicas para los mismos en función de las zonas climáticas y el tipo de cerramiento, si bien las normas más antiguas se refieren solamente a la habitabilidad de los edificios de vivienda.

Este sistema, el de limitar los valores de conductividad térmica de los cerramientos en función de la zona climática, es el que sigue, la que se puede considerar la primera norma sobre confort térmico y consumo energético en acondicionar los edificios, la Norma Básica de la Edificación de Condiciones Térmicas NBE-CT-79.

2.2.1 En vigor cuando se redactan los proyectos. Norma Básica Edificación NBE-CT-79.

Antes de la publicación de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, en vigor, cuando se redactan los proyectos y se construyen los edificios del Campus de Soria, se publica un Decreto con medidas para adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía, el Decreto 1490/1975, de 12 de junio, de la Presidencia del Gobierno, (BOE 11/07/1975).

Este Decreto, consecuencia de la “crisis del petróleo de 1973”, tenía por objeto adelantar parte de las medidas que recogería una futura Norma Básica de Aislamiento térmico, mientras se redactaba. Era de aplicación a todos los proyectos de edificación y su entrada en vigor se fijaba a los tres meses de su publicación. En ella se definían cuatro zonas climáticas. Asignaba unos valores máximos que debían cumplir los edificios:

- para el coeficiente global de transmisión de calor del edificio, que englobaba todos sus cerramientos,
- para cada uno de los cerramientos y
- la permeabilidad al aire de las carpinterías.

Todo ello en función de la zona climática en la que se situaba el edificio.

La Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas de los edificios, aprobada por el Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, de la Presidencia del Gobierno (BOE 22/10/1979) era de obligatoria observancia en todos los proyectos de edificaciones públicas o privadas, que no estuviera en construcción o en posesión de licencia de construcción a la entrada en vigor de la misma, a los tres meses de su publicación. En ella se ampliaban las medidas del Decreto 1490/1975, modificando ligeramente las zonas climáticas, que aumentaban a cinco, aumentando las prescripciones relativas a los cerramientos y fijando nuevos valores límite:

- de coeficientes de conductividad térmica para los cerramientos, según el tipo de cerramiento y la zona climática,
- así como para el coeficiente global de transmisión denominado K_G , que era una media ponderada de los coeficientes de transmisión de calor de la envolvente que separaba los locales calefactados del exterior o de los locales no calefactados. En el cálculo de los valores límite se tenía en cuenta el tipo de energía que se empleaba para acondicionar los edificios, la zona climática y el factor de forma (valor resultante de dividir la superficie de la envolvente en m^2 por el volumen en m^3).

Todas estas prescripciones estaban definidas para edificios calefactados en invierno y en un anexo, que no era de obligado cumplimiento, se incluía las prescripciones que debía seguir los edificios para no consumir mucha energía en acondicionar en verano.

En la tabla 2.1 se ha elaborado un resumen de las prescripciones que afectan a los edificios construidos en la zona climática E y/o la zona climática Z, en la que está incluida la ciudad de Soria.

Norma y fecha	exigencia	tipo de elemento	valor
NORMATIVA DEROGADA			
NBE-CT-79 (RD 2429/1979): 22/01/1980 Condiciones térmicas de los edificios	Coeficiente de transmisión térmica global (K_G) (Zona climática E)	Edificio Calefacción caso 1 $0,25 \leq f(m^{-1}) \leq 1,00$	$0,80 \leq K_G \leq 1,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$
	Coeficiente de transmisión térmica (K) (Zona climática Z)	Cubierta Fachada pesada Forjado sobre espacio abierto Paredes con locales no calefactados huecos	$\leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $\leq 1,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $\leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $\leq 1,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$ Excluidos de valores límite
	Comportamiento higrotérmico		No presenten condensaciones
	Clase de permeabilidad al aire (Zona climática E)	Carpinterías de huecos exteriores	Clase A-2
NBE-CT-79 (RD 2429/1979): 22/01/1980 Recomendaciones ganancias de calor	Coeficiente de transmisión térmica (K)	Cubierta pesada no ventilada	$\leq 0,93 \text{ W/m}^2\text{°C}$
	Ganancia total de calor permitida	Cerramientos verticales	$Q_{\max} = 0,88L + 70,2 = 107 \text{ W/m}^2$
NBE-CA-88 (O29/09/1988): 08/10/1989	Espesor	Acristalamiento ventanas	Vidrio 5-6 mm
	Clase de permeabilidad al aire	Carpinterías en ventanas	Clase A-1

Tabla 2.1. Resumen de exigencias de la NBE-CT-79, en la zona climática de Soria.

2.2.1.1 Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88.

La norma de condiciones acústicas se aprobó, inicialmente, bajo la denominación de Norma “NBE-CA-81” sobre condiciones acústicas de los edificios por el Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (BOE 7/09/1981). Posteriormente se modificó pasando a denominarse Norma “NBE-CA-82” sobre condiciones acústicas de los edificios por el Real Decreto 2115/1982, de 12 de agosto, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (BOE 3/09/1982) y la corrección de errores (BOE7/10/1982) para finalmente modificarse en el año 1988 pasando a denominarse Norma Básica de la edificación “NBE-CA-88” condiciones acústicas de los edificios, aprobada por la Orden de 29 de septiembre de 1988, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (BOE8/10/1988) que entró en vigor al año de su publicación.

La Norma fijaba valores mínimos de aislamiento acústico para los elementos constructivos de las fachadas. En el caso de las ventanas la exigencia implicaba una clasificación mínima de permeabilidad al aire de las carpinterías y un espesor mínimo de acristalamiento lo que afecta al ahorro de energía en acondicionamiento térmico. Los datos relacionados con estas características también se han trasladado a la tabla 2.1.

2.2.2 En vigor en la actualidad.

Durante un largo periodo, a pesar de los avances técnicos y de la preocupación creciente por el medio ambiente, no se producen modificaciones de la normativa relacionada con el ahorro de energía. Sin embargo, a partir de la entrada en vigor del CTE, los cambios hacia una exigencia mayor respecto al comportamiento térmico de la envolvente de los edificios se producen cada vez con mayor frecuencia, siguiendo lo indicado en las directivas europeas.

2.2.2.1 Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación (CTE) se aprueba por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, (BOE 28/03/2006) y posteriormente ha sido modificado por las siguientes disposiciones:

- Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre (BOE 23-octubre-2007).
- Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 25/01/2008).
- Orden FOM /1635/2013 del 10 de septiembre por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE (BOE 12/09/2013).
- Corrección de errores y erratas de la Orden FOM /1635/2013 del 10 de septiembre (BOE 08/11/2013).
- Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía” y el Documento Básico DB-HS “Salubridad”
- Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre (BOE 27/12/2019).

Con la entrada en vigor de esta normativa se derogan las Normas Básicas NBE-CT-79 y NBE-CA-88. El principal cambio que introduce el CTE es la sustitución de una normativa prescriptiva, que obligaba a soluciones determinadas, por una normativa prestacional más abierta a la innovación. En lo referente al ahorro de energía, se pasa de exigir unos valores mínimos de aislamiento a cada elemento de la envolvente, a exigir valores mínimos de demanda o consumo para todo el edificio. La primera versión del CTE incluía un procedimiento de verificación simplificado, similar al de la normativa anterior, para facilitar la transición entre ambas normativas que se eliminó en La actualización del año 2013. La Norma fija valores mínimos de demanda y consumo de energía para los edificios nuevos. También fija límites a la demanda de energía en intervenciones sobre edificios existentes cuando se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica.

La modificación de 2019 limita en mayor medida la demanda de energía y señala unos valores límite de conductividad térmica de los cerramientos considerablemente inferiores a los de las versiones anteriores, en especial en el anexo E donde se dan unos valores límite orientativos que en la práctica

son los que hay que tener en cuenta para satisfacer las prestaciones establecidas en este documento.

En la tabla 2.2 se ha elaborado un resumen de las prescripciones que afectan a los edificios construidos en la zona climática E, en la que está incluida la ciudad de Soria, para que se pueda comparar con las exigidas por la NBE-CT 79.

Norma y fecha	exigencia	tipo de elemento/uso	valor
NORMATIVA EN VIGOR			
CTE (RD 314/2006): 29/03/2006		HE0 limitación del consumo energético	
RD 732/2019, de 20/12/2019		Consumo de energía primaria no renovable	
Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ Tabla 3.1.b –HE0		Uso docente	$10 + 8 \cdot C_{FI}$ kW.h/m ² .año C_{FI} : Carga interna media W/m ²
Consumo de energía primaria total			
Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ Tabla 3.2.b –HE0		Uso docente	$120 + 9 \cdot C_{FI}$ kW.h/m ² .año C_{FI} : Carga interna media W/m ²
HE1 control de la demanda energética – condiciones de la envolvente térmica			
Valores límite de transmitancia térmica Tabla 3.1.1 a –HE1	Muros con exterior		$U_M \leq 0,37$ W/m ² ºC
	Suelos con exterior		$U_S \leq 0,37$ W/m ² ºC
	Cubierta con exterior		$U_C \leq 0,33$ W/m ² ºC
	Muros, Suelos, Cubiertas espacios no habitables		$U_T \leq 0,59$ W/m ² ºC
	Medianerías		$U_{MD} \leq 0,59$ W/m ² ºC
	Huecos		$U_H \leq 1,80$ W/m ² ºC
Valor límite K_{lim} tabla 3.1.1.c –HE1 reformas		V/A (m ³ /m ²) ≤ 1 V/A (m ³ /m ²) ≥ 4	$K_{lim} = 0,43$ W/m ² K $K_{lim} = 0,59$ W/m ² K
Valor límite control solar		$Q_{sol;jul, lim}$	4,00 kW/m ² mes
Permeabilidad al aire Q_{100} Huecos valores límite tabla 3.1.3 HE1			$Q_{100, lim} \leq 9$ m ³ /hm ²
Condensaciones		En el caso de que se produzcan condensaciones intersticiales en la envolvente térmica del edificio.	Estas serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.
Valores orientativos de transmitancia térmica Tabla a-Anejo E		Muros con exterior y Suelos con exterior Cubierta con exterior Muros, Suelos, Cubiertas espacios no habitables Huecos	$U_M \leq 0,23$ W/m ² ºC $U_S \leq 0,23$ W/m ² ºC $U_C \leq 0,19$ W/m ² ºC $U_T \leq 0,48$ W/m ² ºC $U_H \leq 1,50$ W/m ² ºC

Tabla 2.2. Resumen de exigencias DB HE1 del CTE en la zona climática de Soria.

2.2.2.2 Certificación de la eficiencia energética de edificios.

Las exigencias relativas a la certificación energética de edificios establecidas en la Directiva 2002/91/CE, se trasponen en el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Con posterioridad la Directiva 2002/91/CE ha sido modificada por la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, circunstancia que ha hecho necesario transponer de nuevo al ordenamiento jurídico español las modificaciones introducidas. Así el RD 235/2013 Certificación Energética, de 5 de abril, traspone parcialmente la última directiva europea en lo relativo a la certificación de eficiencia energética de edificios, refundiendo el Real Decreto 47/2007, con la incorporación del **procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes**.

La Certificación de Eficiencia Energética trata de evaluar la demanda y el consumo energético de un edificio para proponer actuaciones que disminuyan este consumo y aumenten el confort. La rehabilitación energética es una exigencia, como las anteriores, derivada de la legislación de la Unión Europea. La certificación energética ofrece indicadores que permiten evaluar la demanda y el consumo energéticos y las emisiones de CO₂ de los edificios obtenidos a través de procedimientos de cálculo reglamentarios.

2.2.2.3 Ley de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas (LRRRU).

La Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación urbanas (BOE 27/06/2013) regula el Informe de Evaluación de los Edificios (IEE), que trata de superar las insuficiencias de la Inspección Técnica de Edificios (ITE), exigida en el ámbito estatal a partir del Real Decreto-Ley 8/2011, de 1 de julio. El Informe de Evaluación de los Edificios, que se exige a partir de la entrada en vigor de esta Ley, se desarrolla en tres apartados: la evaluación del estado de conservación de los edificios, la accesibilidad y la certificación energética.

En Castilla y León la Ley 7/2014, de 12 de septiembre, de Medidas sobre Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana, y sobre Sostenibilidad, Coordinación y Simplificación en Materia de Urbanismo (BOCYL 19/09/2014), incorpora algunos artículos con el objetivo de facilitar las actuaciones de mejora desde el punto de vista energético y de la accesibilidad que incluyen varias modificaciones de la Ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León, cuyo texto se incluye a continuación, dada la importancia que tiene al modificar la normativa de ámbito urbanístico para permitir determinadas intervenciones que sin esta modificación no serían posibles:

Artículo 36: Eficiencia energética y energías renovables. El planeamiento urbanístico facilitará las actuaciones de mejora de la eficiencia energética y a tal efecto:

En las actuaciones de rehabilitación, regeneración y renovación urbana se fomentarán las intervenciones de mejora de la envolvente que reduzcan la demanda energética, y los aumentos de volumen o superficie construida derivados de la rehabilitación de obras de mejora energética no se tendrán en cuenta en relación con los límites máximos aplicables a los citados parámetros.

En las construcciones, se procurará la correcta orientación para beneficiarse de factores naturales como los efectos de soleamiento y el régimen de vientos.

En los nuevos sectores urbanizables, se procurará la implantación de sistemas colectivos de calefacción susceptibles de gestión centralizada y apoyada.

La entrada en vigor de este artículo permite que se puedan ejecutar soluciones de aislamiento térmico por el exterior, aunque se aumente la superficie construida del edificio por encima de lo permitido por la normativa urbanística o se invada las aceras o jardines públicos. También permitiría utilizar terrenos públicos o aumentar la superficie y el volumen construido para implantar

sistemas de calefacción más eficientes u otros sistemas que mejoren el acondicionamiento térmico y reduzcan el consumo de energía.

2.2.3 Estudio comparativo de los parámetros térmicos de la envolvente en la normativa.

En las siguientes tablas se resumen las principales exigencias de la normativa asociadas al ahorro de energía en los edificios mediante el aislamiento térmico de su envolvente que viene definido por varios parámetros en función de la zona climática:

- el coeficiente de transmisión térmica o la transmitancia,
- el grado de permeabilidad al aire de las carpinterías.

Los datos que figuran en las tablas son los relativos a la zona climática en la que se localiza el Campus de la Universidad Valladolid, situado en la ciudad de Soria, en una de las ciudades de España con un clima más frío en el período de invierno, en la zona climática E.

Al comparar los parámetros de las tablas 2.1 y 2.2 se puede ver claramente que las prestaciones han aumentado notable, las fachadas pesadas han pasado de un valor de transmitancia límite de 1,40 W/m²°C a un valor recomendable de 0,23 W/m²°C, es decir, la sexta parte, y de manera similar ocurre con el resto de los parámetros para limitar la demanda de energía en el acondicionamiento. La diferencia más importante está en los huecos donde se pasa de no incluir valores límite en la NBE-CT 79 (posiblemente porque en la fecha en que se dicta la norma no se construía con carpinterías con ruptura de puente térmico y no era usual utilizar vidrios dobles) a unos valores que exigen utilizar carpintería y vidrios especiales para cerrar los huecos. Estas diferencias se pueden valorar mejor en la siguiente tabla.

tipo de elemento	NBE-CT-79 (RD 2429/1979): 22/01/1980	CTE (RD 314/2006): 29/03/2006 RD 732/2019, de 20/12/2019
	Coeficiente de transmisión térmica K	Valores orientativos de transmitancia U térmica Tabla a-Anejo E
Cubierta	≤ 0,70 W/m ² °C	U _C ≤ 0,19 W/m ² °C
Fachada pesada	≤ 1,40 W/m ² °C	U _M ≤ 0,23 W/m ² °C
Forjado sobre espacio abierto	≤ 0,70 W/m ² °C	U _S ≤ 0,23 W/m ² °C
Paredes con locales no calefactados	≤ 1,60 W/m ² °C	U _T ≤ 0,48 W/m ² °C
Huecos	Excluidos de valores límite	U _H ≤ 1,50 W/m ² °C
	Clase de permeabilidad al aire	Permeabilidad al aire Q₁₀₀
Carpinterías de huecos exteriores	Clase A-2	Q _{100, lim} ≤ 9 m ³ /hm ²
	Coeficiente de transmisión térmica global (KG)	Valor límite K_{lim} tabla 3.1.1.c –HE1, reformas
Coeficiente de transmisión global	Calefacción caso 1 0,25≤f(m ⁻¹)≤1,00 0,80≤ K _G ≤1,40 W/m ² °C	V/A (m ³ /m ²)≤ 1 Klim =0,43W/m ² K V/A (m ³ /m ²)≥ 4 K _{lim} =0,59W/m ² K

Tabla 2.3. Resumen comparativo de los valores límite entre la NBE-CT 79 y el DB HE1 del CTE.

Los valores de la columna CTE son los que se van a utilizar de referencia para establecer las actuaciones de rehabilitación.

3 Estudio del estado actual de la envolvente de los edificios del Campus de Soria.

Cuando nos enfrentamos a la rehabilitación de un edificio es necesario establecer una metodología que permita recopilar la información relativa a la envolvente del mismo para evaluar el estado actual y analizar las mejoras que son necesarias desde el punto de vista del aislamiento térmico. A continuación, se describe la metodología seguida en este proyecto.

3.1 Documentación básica de los proyectos y parámetros térmicos de la envolvente.

El Catastro es una de las primeras fuentes de información para conocer: la propiedad, situación, superficie, uso, número de plantas y antigüedad del edificio. Tanto la situación como la fecha en la que fue construido el edificio van a servir de base para la localización de la información en otros archivos www.catastro.meh.es (figura 3.1)



trianguladas de perfiles de acero que forman la estructura de las mismas y los cerramientos verticales son totalmente acristalados (figura 3.3).



Figura 3.2. Fachadas del interior cuarto de círculo: izquierda fase 1, derecha fase 2.



Figura 3.3. Imagen conexión entre edificios. Izquierda fase 1, derecha fase 2.

3.1.1 Documentación de los proyectos

La documentación de los proyectos es el principal elemento para conocer los sistemas constructivos de los cerramientos y sus valores térmicos. Entre la documentación hay que distinguir entre la del proyecto y la del final de obra. La documentación final de obra es la que refleja la realidad construida recogiendo los cambios que se pueden haber realizado durante la ejecución, respecto del proyecto inicial, y la que contiene la documentación sobre los ensayos y pruebas realizadas, así como la documentación relativa a las características de los materiales empleados. En el caso que se analiza es importante contar con documentos relativos a los materiales aislantes:

- Documentos de proyecto: planos, memoria, presupuesto y pliego de condiciones. En este caso hay un documento de especial importancia y es la ficha justificativa del cálculo del K_G , donde se puede encontrar de manera resumida los valores de los coeficientes K de los diferentes cerramientos del edificio.

- Documentos finales de la obra: memoria, planos y presupuesto en aquellos aspectos en que se haya modificado el proyecto inicial. Los ensayos de materiales elementos, así como los certificados y documentos relativos a los materiales y sistemas constructivos: dite, sello INCE, marcado CE. Fotografías de la ejecución y del final de la obra. ESTRECYM Estudio de los sistemas técnicos de reparación, entretenimiento, conservación y mantenimiento del edificio o Libro del Edificio (esta documentación varía según el año en el que finalice el proyecto).

De la información relativa a materiales y sistemas constructivos es importante la relacionada con los materiales aislantes térmicos ya que estos son los que aportan mayor resistencia térmica al cerramiento y porque son materiales que van protegidos por fábricas, revocos o guarnecidos y por lo tanto no se ven a simple vista, como ocurre con los materiales de acabado. Los fabricantes proporcionan las características de los materiales aislantes, certificados, resultados de ensayos que en general se pueden solicitar y así tener una mayor información del cerramiento y sus características.

Documentación necesaria para el análisis del estado original de la envolvente del edificio es:

- Descripción de los cerramientos de la envolvente en la memoria y en el presupuesto y cálculo de los coeficientes de transmisión térmica de cada cerramiento.
- Características de los materiales componentes de los cerramientos.
- Secciones y detalles constructivos de los cerramientos.
- Documento justificativo del cumplimiento de la NBE-CT-79 (figuras 3.4 y 3.5), en esta ficha estas los valores de conductividad térmicas de los diferentes cerramientos de los proyectos así con el valor medio ponderado de todos ellos.
- Documentación relativa al desarrollo de la obra. Si ha habido algún cambio entre el proyecto y la obra realizada. Cuestión que es probable cuando se realiza una obra que se ha licitado ya que los constructores suelen incluir lo que se denomina “mejora” para conseguir la adjudicación de las obras.

Para este proyecto se ha contado con la información facilitada por la Unidad Técnica de Arquitectura de la Universidad de Valladolid y tanto en la memoria como en los planos se ha obtenido la descripción de los cerramientos y sus parámetros térmicos, las secciones constructivas de las dos fases (figuras 3.6 y 3.7). La Unidad Técnica, también ha facilitado diversas fotografías relativas a la ejecución de la obra de la fase 2.

Las dos fases se han construido con diseños y sistemas diferentes lo que implica que haya que analizar y comparar las dos soluciones constructivas para evaluar mejor las propuestas de rehabilitación. Desde el punto de vista térmico hay varios cambios significativos que se pueden apreciar en la envolvente de las dos fases. El sistema estructural es de hormigón armado.

Sistemas constructivos de la Fase 1:

- cerramiento de fachada de dos hojas de fábrica de ladrillo, enfoscada o chapado con piedra arenisca por el exterior y guarnecida y enlucida la interior, entre las dos hojas, cámara de aire no ventilada y hoja de material aislante,
- ventanas a haces interiores de la fachada, de carpintería de aluminio con ruptura de puente térmico (RPT) y vidrio doble, con cajonera de persiana enrollable y doblado de las hojas de ladrillo en jambas y alfeizar y dintel formado por perfil en doble T de acero,
- sistema de cubierta plana invertida con membrana impermeable y protección de grava,
- suelo sobre forjado con cámara de aire no ventilada.

Ficha justificativa del cálculo Kg del edificio

El presente cuadro expresa que los valores de K especificados para los distintos elementos constructivos del edificio cumplen los requisitos exigidos en los artículos 4º y 5º de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 "Condiciones Térmicas en los Edificios".

Elemento constructivo			Superf. S m ²	Coeficiente K kcal/h m ² °C (W/m ² °C) 1)	S . K kcal/h °C (W/°C)	Coef. corect. n	n . Σ s.K kcal/h °C (W/°C)
Apartado E		Tipo	S_E	K_E	S_E . K_E	1	Σ S_E K_E
Cerramientos en contacto con el ambiente exterior	Huecos exteriores verticales, puertas, ventanas	ventanas	696,00	3,40	2.366,40		2.511,40
		puertas	29,00	5,00	145,00		
	Cerramientos verticales o inclinados más de 60º con la	Fachadas	2.308,00	0,41	946,28		946,28
	Forjado sobre espacios exteriores						
Apartado N		Tipo	S_N	K_N	S_N . K_N	0,5	0,5 Σ S_N K_N
Cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados	Cerramientos verticales de separación con locales no calefactados, o medianerías						
	Forajados sobre espacios cerrados no calefactados de altura > 1 m.						
Apartado Q		Tipo	S_Q	K_Q	S_Q . K_Q	0,8	0,8 Σ S_Q K_Q
Cerramientos de techo o cubierta	Huecos, lucernarios, claraboyas						
	Azoteas (3)						
	Cubiertas inclinadas menos de 60º con la horizontal	Cubierta	2.936,50	0,40	1.174,60		939,68
Apartado S		Tipo	S_S	K_S	S_S . K_S	0,5	0,5 Σ S_S K_S
Cerramientos de separación con el terreno (2)	Soleras						
	Forajados sobre cámara de aire de altura menor o igual que 1 m.	forjado sanitario	2.488,00	0,21	522,48		261,24
Factor de forma en m ⁻¹ =		<u>Superficie total S</u>	<u>$\frac{8.906,00}{23.818,00} = 0,37$</u>				
Exigencia de la Norma (Art. 4º)		Cumplimiento de la exigencia de la Norma					
Tipo de energía	Factor de forma	Zona climática	E	4.658,60			
I	0,37	K _G ≤	0,96	Kg del edificio =	0,52	≤	0,96
				8.906,00			
(1) Estos coeficientes deben cumplir los requisitos exigidos en el artículo 5º de la Norma. Para los edificios situados en las islas Canarias será suficiente cumplimentar esta columna. (2) Como se indica en 3.2 pueden emplearse coeficientes lineales de transmisión de calor k _S en vez de K _S siempre que se cumpla la condición de que: k _S . LS = K _S . SS, en kcal/h °C (W/°C). (3) Se pueden incluir en este apartado las azoteas ajardinadas y forjados enterrados.							

Figura 3.4. Ficha justificativa del K_G de la NBE CT-79, del proyecto, fase 1 de construcción de los edificios, (fuente: Unidad Técnica UVa).

Ficha justificativa del cálculo Kg del edificio

El presente cuadro expresa que los valores de K especificados para los distintos elementos constructivos del edificio cumplen los requisitos exigidos en los artículos 4º y 5º de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 "Condiciones Térmicas en los Edificios".

Elemento constructivo		Superfic. S m ²	Coeficiente K kcal/h m ² °C (W/m ² °C) 1)	S . K kcal/h °C (W/°C)	Coef. correct. n	n . Σ s.K kcal/h °C (W/°C)	
Apartado E		Tipo	S _E	K _E	S _E . K _E	1	Σ S _E K _E
Cerramientos en contacto con el ambiente exterior	Huecos exteriores verticales, puertas, ventanas	Huecos	1.135,24	4,10	4.654,48		4.654,48
	Cerramientos verticales o inclinados más de 60º con la	Fachadas	5.419,87	0,44	2.384,74		2384,74
	Forjado sobre espacios exteriores	Pasarelas	93,69	0,52	48,72		48,72
Apartado N		Tipo	S _N	K _N	S _N . K _N	0,5	0,5 Σ S _N K _N
Cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados	Cerramientos verticales de separación con locales no calefactados, o medianerías						
	Forjados sobre espacios cerrados no calefactados de altura > 1 m.	Edificio A	1.035,88	0,56	580,09		290,05
	Huecos, puertas, ventanas						
Apartado Q		Tipo	S _Q	K _Q	S _Q . K _Q	0,8	0,8 Σ S _Q K _Q
Cerramientos de techo o cubierta	Huecos, lucernarios, claraboyas	Claraboyas	20,16	4,00	80,64		64,51
	Azoteas (3)						
	Cubiertas inclinadas menos de 60º con la horizontal	Cubierta 1	4050,38	0,37	1498,64		1326,18
Apartado S		Tipo	S _S	K _S	S _S . K _S	0,5	0,5 Σ S _S K _S
Cerramientos de separación con el terreno (2)	Soleras						
	Forjados sobre cámara de aire de altura menor o igual que 1 m.	Edificios B,C y D	3.225,05	0,32	1032,02		516,01
	Muros enterrados o semienterrados						
						Σ Total	9.284,69
Factor de forma en m ⁻¹ =	Superficie total S	=	15.244,19				
	Volumen total V	=	37.320,81				
Exigencia de la Norma (Art. 4º)				Cumplimiento de la exigencia de la Norma			
Factor de forma		Zona climática	E		9.284,69		
Factor de forma				Kg del edificio =	=	0,61	≤ 0,92
Factor de forma						15.244,19	

(1) Estos coeficientes deben cumplir los requisitos exigidos en el artículo 5º de la Norma. Para los edificios situados en las Islas Canarias será suficiente cumplir esta columna.
(2) Como se indica en 3.2, pueden emplearse coeficientes lineales de transmisión de calor k_S en vez de k_S siempre que se cumpla la condición de que: k_S . LS = k_S . SS, en kcal/h °C (W/°C).
(3) Se pueden incluir en este apartado las azoteas ajardinadas y forjados enterrados.

Figura 3.5. Ficha justificativa del K_G de la NBE CT-79, fase 2 de construcción de los edificios.

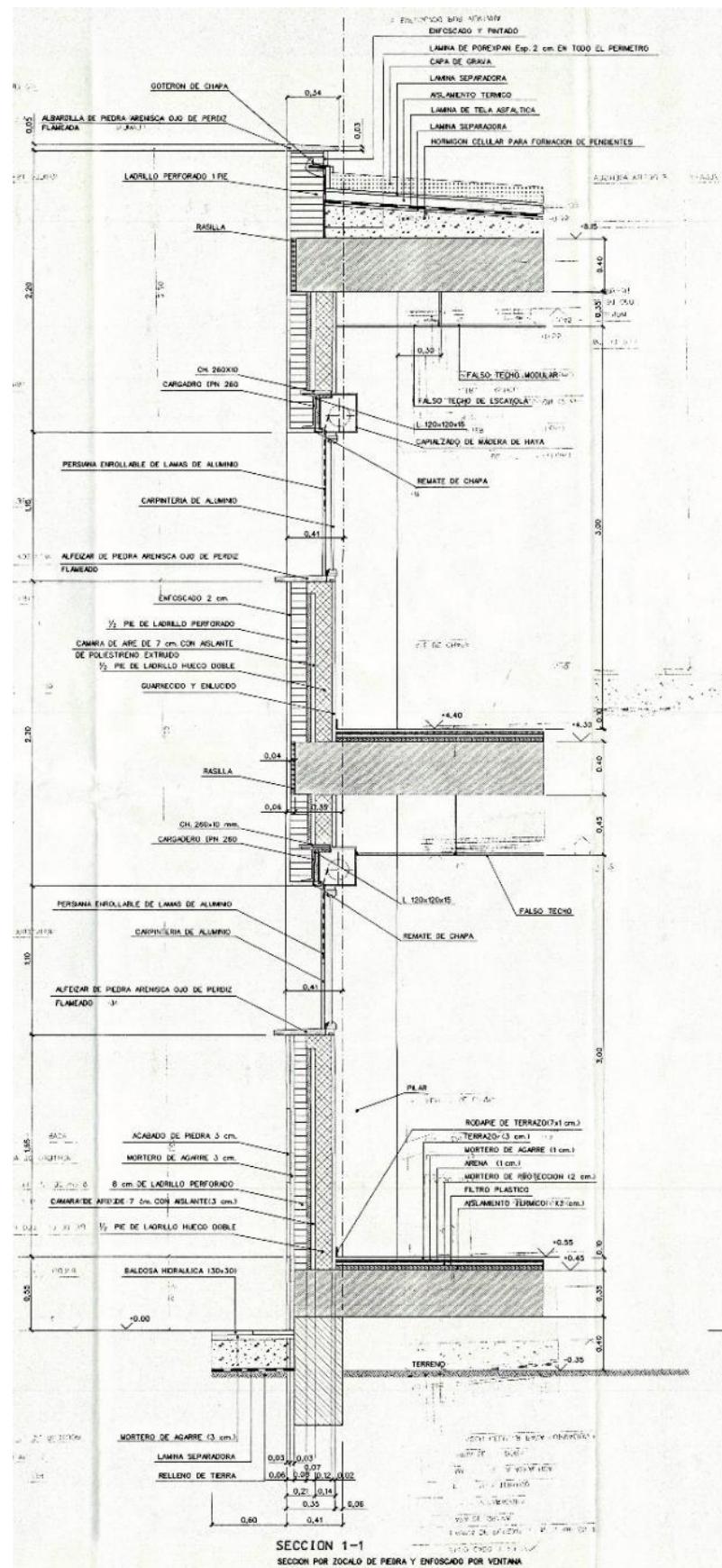


Figura 3.6. Una de las secciones constructivas del plano A-027 de Proyecto básico y de ejecución de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Soria de 22 de marzo de 1997 (fuente: Unidad Técnica UVa).

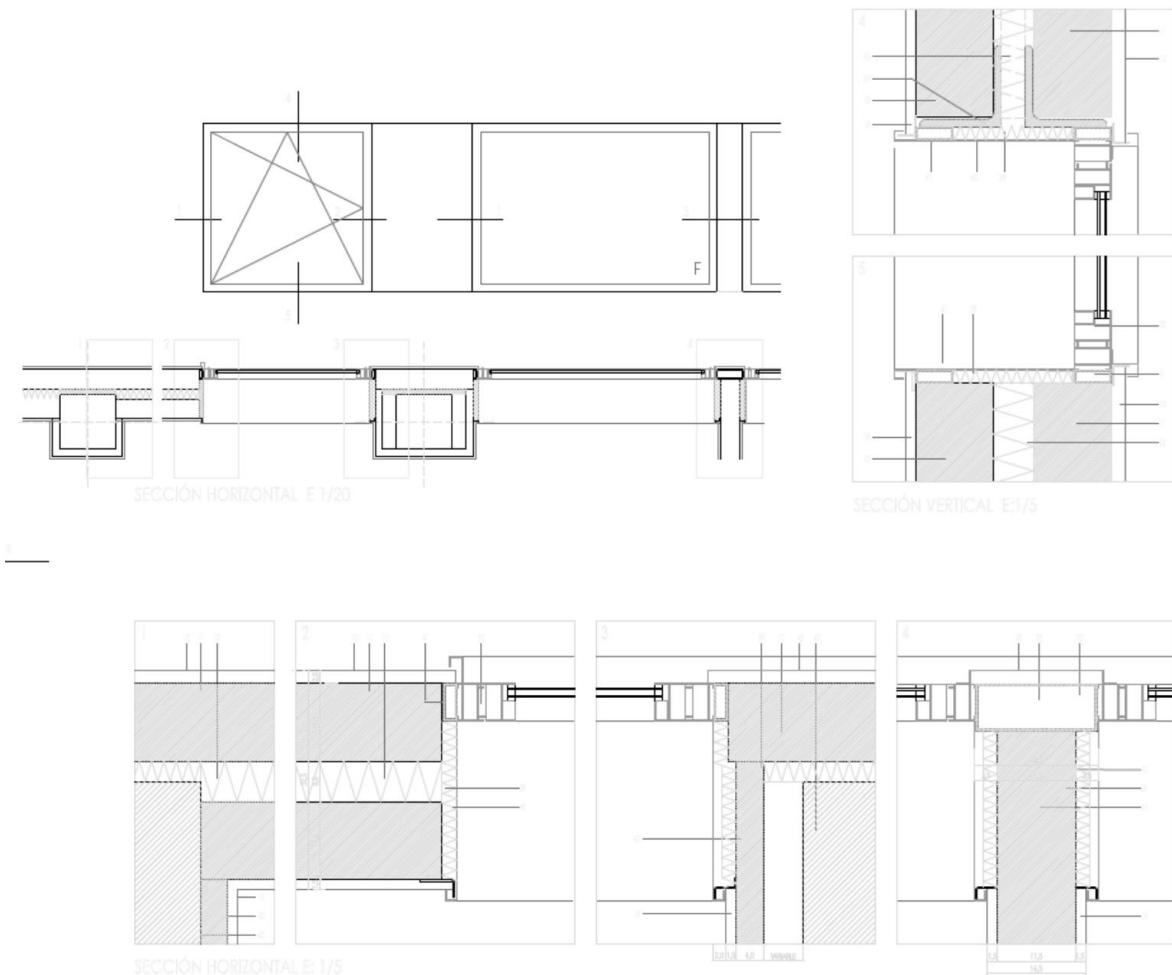


Figura 3.7. Sección constructiva del Proyecto básico y de ejecución del Edificio de Usos Múltiples para la Universidad de Valladolid en Soria de diciembre de 2003 (Unidad Técnica Uva).

Sistemas constructivos de la Fase 2:

- cerramiento de fachada de una hoja de fábrica trasdosada por el interior con un sistema de placas de yeso laminado (PYL), con aislamiento térmico colocado entre el entramado del trasdosado,
- ventanas, a haces exteriores de la fachada, de carpintería de aluminio con RPT y acristalamiento doble, con persianas de lamas al interior y forrado de jambas, dintel y repisa con material aislante y lámina metálica, en proyecto, que se ejecuta con PYL,
- sistema de cubierta plana invertida con protección de grava (excepto en el edificio denominado 7 y en las pasarelas que unen los edificios de la fase donde la cubierta es de paneles multicapa aislante,
- suelo sobre losa de cimentación.

El diseño de los huecos es diferente en las dos fases y en la figura 3.8 se aprecian algunas de las diferencias.



Figura 3.8. A la izquierda, carpintería de la fase 1. A la derecha, carpintería de la fase 2.

Puentes térmicos de los edificios de la fase primera:

- frente forjado: cubierta, forjado planta primera y suelo,
- jambas, alfeizares y dinteles de hueco,
- encuentro de pilares de fachada,
- puentes geométricos en esquina, que en este caso responden al pilar en esquina.

Puentes térmicos de los edificios de la fase segunda:

- frente forjado: cubierta, suelo planta primera y suelo,
- jambas, alfeizares y dinteles de hueco,
- encuentro de pilares de fachada,
- puentes geométricos en esquina, que en este caso responden al pilar en esquina.

Respecto de los puentes térmicos de los huecos, hay que señalar que en el proyecto de la fase segunda se ha realizado un diseño constructivo que mejora el comportamiento térmico de estos elementos.

Los puentes térmicos descritos son los relativos a las fachadas y los encuentros de estas con otros sistemas. Los puentes térmicos que pueden existir en la cubierta en las salidas a las mismas, donde hay claraboyas, no se han podido estudiar por no tener la información suficiente.

La documentación relativa a las características térmicas de la envolvente se ha localizado en la memoria y en las fichas justificativas del cálculo coeficiente de transmisión térmica global del edificio, el denominado K_G de la NBE-CT-79. A efectos de los valores límite del K_G Soria está en la zona climática E, según el Mapa 1 del artículo 13 y a efecto de los valores límite de los coeficientes de transmisión térmica K de los cerramiento Soria está en la zona climática Z, del Mapa 2 del citado artículo.

Al analizar la información de las fichas del K_G se puede verificar que los valores de K de los diferentes cerramientos están por debajo de los límites fijados en la normativa con la que fueron construidos así como el valor del K_G que es sensiblemente inferior al valor límite:

- en la fase primera, el $K_G = 0,52 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y el valor límite es de $0,96 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$,
- en la fase segunda, el $K_G = 0,61 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y el valor límite es de $0,92 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.1.2 Estudio del comportamiento térmico del edificio

Después de recabar la información sobre los proyectos y de establecer una clasificación de los diferentes cerramientos y puentes térmicos de la envolvente se va a realizar un estudio del comportamiento térmico del edificio para el que se utilizarán diversos sistemas, desde el cálculo analítico de los paramentos de los cerramientos, simulaciones del comportamiento de los puentes térmicos hasta ensayos realizados “in situ” para contrastar los valores obtenidos por los diversos sistemas.

3.1.2.1 Transmitancia térmica de los cerramientos.

Mediante el cálculo teórico se caracterizará el funcionamiento térmico de los diferentes elementos que componen la envolvente. Se tratarán por separado las partes ciegas, los huecos y los puentes térmicos y se realizarán los cálculos según lo establecido en la NBE-CT-79, norma que estaba en vigor cuando se proyectaron y construyeron los edificios teniendo en cuenta la descripción e información del proyecto.

La norma NBE-CT-79 “Condiciones Térmicas de los Edificios” es la primera norma de obligado cumplimiento que contiene el método de cálculo del coeficiente de transmisión térmica K, tablas con los valores de los coeficientes de conductividad térmica de los materiales y sistemas constructivos más comunes en construcción, procedimientos de cálculo numérico y gráfico para estimar el riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales.

Este documento recoge el sistema de cálculo que venía empleándose y que se puede encontrar en el “Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura de 1960”⁴. En el apartado 8.2 “aislamientos térmicos” se indica el procedimiento de cálculo del coeficiente de conductividad térmica de un cerramiento formado por varias hojas de diferentes materiales. En este documento se aporta esta información para poder calcular la cantidad de calor que es necesario aportar o extraer para obtener el ambiente de confort especificado en el proyecto, en función de las temperaturas interior y exterior, la superficie del cerramiento y el coeficiente de transmisión de calor aire a aire (Kcal/h.m².°C) de los cerramientos que conforma el espacio acondicionado.

En las siguientes tablas figuran los cálculos teóricos del K de los diferentes tipos de cerramientos de los edificios. Los valores de los coeficientes de conductividad térmica λ (W/m °C) de los componentes de los cerramientos son los que figuran en la memoria del proyecto y en los casos en los que no se ha localizado este dato, se ha seleccionado de los que figuran en el anexo 2, tabla 2.8 de la NBE-CT-79. También se ha utilizado el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) que, aunque no está actualizado desde 2011, entendemos que es una base adecuada para obtener estos valores.

Para verificar la realidad térmica del edificio se han realizado diversos ensayos de flujo térmico de forma que se caracterizasen los cerramientos principales de la envolvente de los edificios y así poder contrastar los valores obtenidos en los cálculos teóricos con los de los ensayos.

3.1.2.2 Cálculo de la transmitancia térmica superficial, cerramientos opacos.

Se ha realizado el cálculo de la transmitancia térmica de los diferentes cerramientos ejecutados que figuran en las tablas 3.1 a 3.10, que se adjuntan a continuación. En estas tablas se han incluido: los valores de conductividad térmica de cada material, el espesor de las hojas, los coeficientes de transmisión térmica del proyecto y los valores límite señalados en la NBE-CT-79 para cada tipo de cerramiento en la zona climática Z, valor que sirve de referencia para verificar que los edificios fueron construidos con unas características aislantes superiores a las mínimas indicadas en la norma.

Fachada F11 fase 1 tipo 1 (revocada)	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	K proy (W/m ² K)	K _{max} NBE CT-79 (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,06			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
1/2 pie ladrillo Perforado	0,76	0,115	0,15			
Poliuretano proyectado	0,023	0,03	1,29			
Cámara de aire no ventilada		0,04	0,17			
1/2 pie de ladrillo hueco doble	0,49	0,115	0,24			
Enlucido y guarnecido de yeso	0,30	0,015	0,05			
Resistencia térmica superficial interior			0,11			
total		0,34	2,08	0,48	0,48	1,40

Tabla 3.1. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de fachada revocado de la fase 1.

Fachada F12 fase 1 tipo 2 (chapado arenisca)	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	K proy (W/m ² K)	K _{max} NBE CT-79 (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,06			
Piedra arenisca	2,33	0,03	0,01			
Mortero de cemento	1,40	0,03	0,02			
1/2 pie Ladrillo Perforado	0,76	0,115	0,15			
Poliuretano proyectado	0,023	0,03	1,29			
Cámara de aire no ventilada		0,04	0,18			
1/2 pie de ladrillo hueco doble	0,49	0,115	0,24			
Enlucido y guarnecido de yeso	0,30	0,02	0,07			
Resistencia térmica superficial interior			0,11			
total		0,38	2,13	0,47	0,48	1,40

Tabla 3.2. Cálculo del coeficiente K del cerramiento fachada chapada de arenisca de la fase 1.

Fachada F13 fase 1 tipo 2 (muro salón de actos)	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	K proy (W/m ² K)	K _{max} NBE CT-79 (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,06			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
Hoja de bloque de termoarcilla de 24 cm	0,42	0,24	0,57			
Fibra de celulosa al interior	0,039	0,03	0,77			
Resistencia térmica superficial interior			0,11			
total			1,52	0,66	0,48	1,40

Tabla 3.3. Cálculo del coeficiente K de fachada de termoarcilla del salón de actos, fase 1.

Cubierta C11 plana de la fase 1	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,05			
Grava	0,81	0,08	0,10			
Capa separadora		0,001				
Aislamiento térmico	0,033	0,04	1,21			
Membrana impermeable	0,19	0,006	0,03			
Lámina separadora		0,001				
Mortero de cemento	1,4	0,02	0,01			
Hormigón ligero formación pendiente	1,16	0,1	0,09			
Forjado reticular (30+10)	0,73	0,1	0,14			
Resistencia térmica superficial interior			0,09			
total			1,72	0,58	0,47	0,70

Tabla 3.4. Cálculo coeficiente K de cubierta plana con protección de grava de la fase 1.

Suelo S11, en contacto con cámara sanitaria, fase 1 tipo 1	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/mK)	(W/m ² K)
Resistencias térmicas superficiales ext+int			0,29			
Baldosa de terrazo	1,20	0,03	0,04			
Mortero de cemento	1,4	0,03	0,04			
Aislamiento térmico/acústico	0,03	0,03	0,91			
Forjado autoportante 25+5			0,27			
total			1,60	0,62	0,21	1,20

Tabla 3.5. Cálculo coeficiente K de cerramiento de suelo de la fase 1.

Fachada F21 fase 2 tipo 1 (revocada)	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,06			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
1/2 pie ladrillo Perforado	0,870	0,115	0,13			
Lana de vidrio	0,044	0,06	1,36			
PYL	0,250	0,015	0,06			
Resistencia térmica superficial interior			0,11			
total			0,21	1,74	0,57	0,51
						1,40

Tabla 3.6. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de fachada revocado de la fase 2.

Fachada F22 fase 2 tipo 2 (zócalo hormigón)	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,06			
Muro de hormigón armado	1,63	0,15	0,09			
Lana de vidrio	0,044	0,06	1,36			
PYL	0,250	0,015	0,06			
Resistencia térmica superficial interior			0,11			
total			1,68	0,60	0,48	1,40

Tabla 3.7. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de zócalo de hormigón visto de la fase 2.

Cubierta C21 Cubierta plana con protección de grava de la fase 2	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,05			
Grava	0,81	0,10	0,12			
Capa separadora		0,001				
Aislamiento térmico	0,033	0,05	1,54			
Membrana impermeable		0,006				
Lámina separadora		0,001				
Mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
Hormigón ligero formación pendiente	0,33	0,1	0,31			
Forjado (30 cm)			0,20			
Resistencia térmica superficial interior			0,09			
total			2,32	0,43	0,43	0,70

Tabla 3.8. Cálculo del coeficiente K del cerramiento de cubierta plana de la fase 2.

Suelo S21 en contacto con el aire de la fase 2	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial interior			0,17			
Baldosa de terrazo	1,63	0,04	0,02			
Mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
Aislamiento térmico	0,032	0,04	1,26			
Losa de hormigón armado	1,63	0,24	0,15			
Resistencia térmica superficial exterior			0,05			
total			1,66	0,60	0,59	0,70

Tabla 3.9. Cálculo del coeficiente K del suelo de las pasarelas de la fase 2.

Suelo S22 en contacto con el terreno fase 2	λ	e	R	K	K proy	K_{max} NBE CT-79
	(W/m K)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)	(W/mK)	(W/m ² K)
Resistencia térmica superficial interior			0,17			
Baldosa de terrazo	1,63	0,04	0,02			
Mortero de cemento	1,4	0,06	0,04			
Aislamiento térmico	0,033	0,03	0,92			
Losa de cimentación	1,63	0,5	0,31			
Resistencia térmica superficial interior			0,00			
total			R_a	1,47	0,68	lineal
						--

Tabla 3.10. Cálculo del coeficiente K de suelo sobre losa de cimentación en la fase 2.

3.1.2.3 Transmitancia térmica de huecos.

La transmitancia térmica de huecos y ventanas se ha tomado directamente de lo indicado en los proyectos:

- Fase primera, en la memoria se indica que la carpintería será aluminio con un coeficiente de transmisión térmica de 3,40 Kcal/hm² °C, clase A3 (reforzada) respecto de la permeabilidad al aire, clase EE (excepcional) respecto de la estanquidad al agua y clase VE (excepcional) respecto a la resistencia al viento y que los vidrio serán dobles con cámara de aire.

- Fase segunda, en la memoria se indica que huecos exteriores verticales, puertas, ventanas, tendrán una carpintería de aluminio: ventanas con acristalamiento 6/12/6 y puertas exteriores con acristalamiento 6+6/12/4+4 con un coeficiente de transmisión térmica de 4,10 Kcal/hm²oC, en la memoria no se ha localizado ninguna referencia a que la carpintería sea con RPT, aunque a las ventanas a las que se ha tenido acceso la carpintería es de aluminio con RPT.

3.1.2.4 Ensayo del medidor de flujo de calor.

El ensayo más habitual para conocer los valores de conductancia y transmitancia de un cerramiento es el del método del medidor de flujo de calor, o ensayo termoflujométrico, avalado por la norma ISO 9869-1⁵. Se basa en la medición, mediante una placa de flujo térmico, de la densidad de flujo térmico que atraviesa el cerramiento. La placa se sitúa en la cara interior del cerramiento para que mida el flujo que atraviesa el cerramiento mientras se miden las temperaturas del aire de los ambientes que separa el cerramiento para calcular la transmitancia, o bien las temperaturas superficiales de las caras interior y exterior del cerramiento para calcular la conductancia. Las temperaturas se miden mediante termopares.

El método exige la toma de datos en unas condiciones de temperatura estables durante períodos que comprendan días completos (el tiempo mínimo son 72 horas a no ser que exista almacenamiento de energía en el cerramiento, que entonces sería las 96 horas). Con los datos obtenidos se realiza un análisis estadístico del valor de la resistencia térmica, la conductancia o la transmitancia del elemento. La Norma define dos tipos de análisis: el método de la media y el método dinámico. El método empleado en este proyecto es el de la media, el más simple.

Las fórmulas del método de la media, para el cálculo de resistencia térmica, conductancia y transmitancia, son las siguientes:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (\theta_{sij} - \theta_{sej})}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad \Lambda = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (\theta_{sij} - \theta_{sej})} \quad U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})} \quad (1)$$

Donde:

- R Resistencia térmica,
- Λ Conductancia térmica,
- U Transmitancia térmica
- θ Temperatura y
- q Densidad de flujo de calor.

Los subíndices indican:

- s que el valor es relativo a la superficie,
- i que es interior y
- e que es exterior

La norma no limita la diferencia de temperatura necesaria entre los dos ambientes que separa el elemento ensayado, pero la precisión del resultado depende directamente de este valor. Como valor orientativo se estima que es conveniente que haya una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de 10-15 grados.

Los ensayos in situ se realizaron durante al menos catorce días, en cerramientos orientados casi al norte. Esta orientación fue elegida con la intención de evitar la incidencia directa del sol, que pudiera provocar alteraciones del flujo y de las temperaturas. Por este motivo se realizaron en los cerramientos laterales de los edificios y siempre que ha sido posible en las plantas bajas. De los catorce días de ensayo, se han seleccionado los cinco/seis que tuvieron la temperatura exterior más

baja, para que la diferencia entre las temperaturas superficiales exterior e interior fuera lo mayor posible⁶. Estos datos se han tomado cada 15 minutos y se almacenaron en una data logger.

El ensayo se realiza tal y como se puede apreciar en la figura 3.9. La placa de flujo térmico se sitúa alejada de los posibles puentes térmicos (o en los puentes térmicos, cuando se ha optado por ensayar un puente térmico) para lo que anteriormente se han captado imágenes con la cámara termográfica y próxima a una ventana para poder colocar las sondas de temperaturas exterior y conectar a la data logger. Los instrumentos utilizados (figura 3.10) para el ensayo han sido:

- Placa de flujo térmico digital AMR modelo FQAD19T de Ahlborn de 250 mm x 250 mm x 1,5 mm (precisión 0,02% del valor medido) adecuada para acabado plano de yeso.
- Placa de flujo térmico digital AMR modelo FQAD18TSI de Ahlborn de 120 mm x 120 mm x 3 mm de silicona, y de 100 mm x 50 mm x 3 mm para las zonas de puentes térmicos (precisión 0,02% del valor medido).
- Para el almacenamiento de datos de flujos de calor, como de temperaturas superficiales de la probeta, los equipos utilizados son bases de medida o data logger del modelo Almemo 2590 y del modelo Almeno 2690-8A de Ahlborn, (precision 0,03%)
- Cuatro termopares para medir la temperatura ambiental y superficial, dos por el interior y dos por el exterior (precisión $\pm 0,05^\circ\text{C} \pm 0,05\%$ del valor medido).

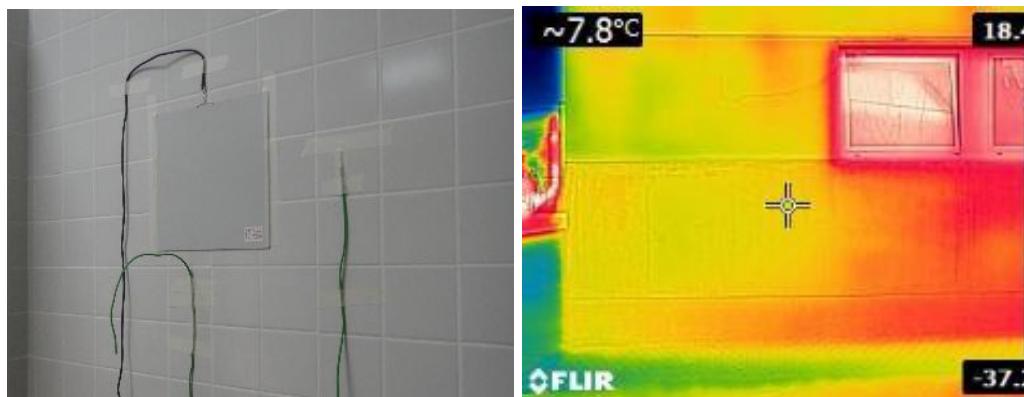


Figura 3.9. De izquierda a derecha: placa de flujo térmico colocada, imagen térmica exterior.



Figura 3.10. De izquierda a derecha: placa de flujo térmico, data logger y termopar.

En la figura 3.11 se muestra un ejemplo de recogida de datos de temperaturas: exterior y superficial exterior, interior y superficial interior y densidad de flujo de calor durante varios días consecutivos. Las columnas con valores negativos indican los valores de flujo de calor medidos por la placa y los valores de las temperaturas se han representado con líneas, en este caso todas las temperaturas medidas eran de valores positivos: en colores cálidos la temperatura interior del aire y de la

temperatura interior superficial del cerramiento, en colores verdes la temperatura exterior del aire y la temperatura superficial exterior del cerramiento.

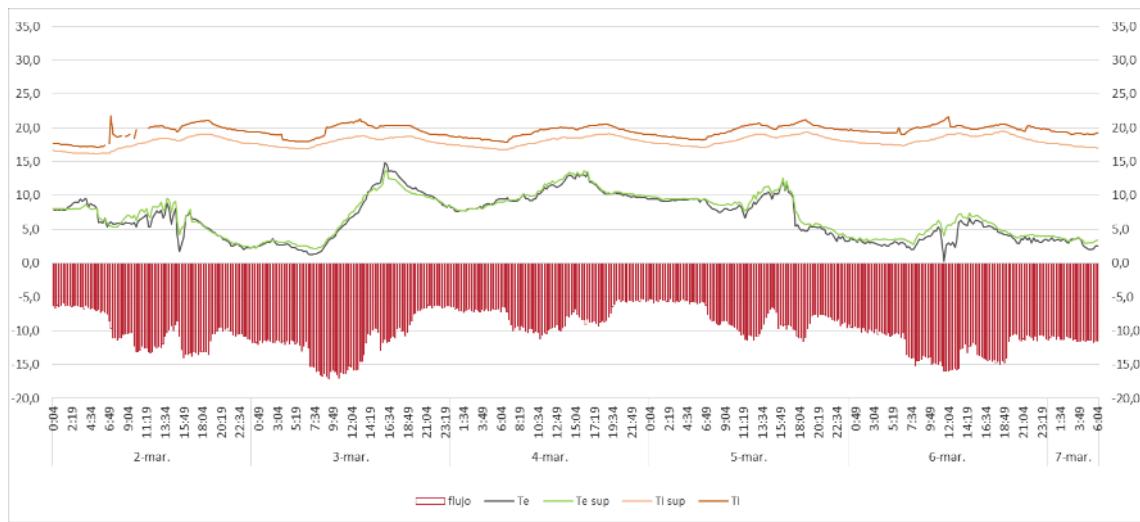


Figura 3.11. Ensayo en cerramiento de fachada tipo 2.1.

Con estos datos, mediante el cálculo de los valores medios que se ha descrito anteriormente, se pueden obtener los valores de conductancia y transmitancia del cerramiento (figura 3.12) aplicando las fórmulas (1).

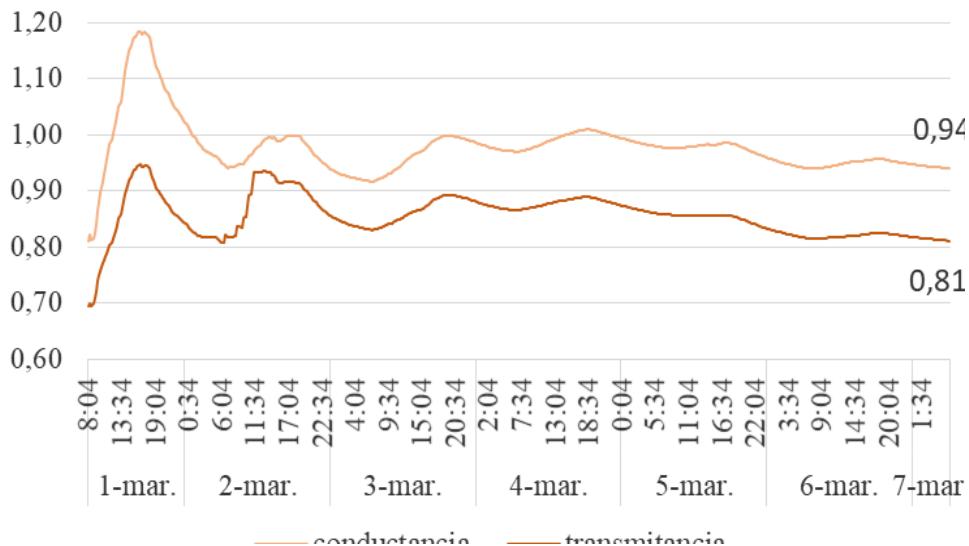


Figura 3.12. Valores de conductancia y transmitancia calculados según las fórmulas (1).

De esta forma se pueden comparar y analizar los valores de transmisión térmica del proyecto, los calculados analíticamente tomando como datos de partida los valores de conductividad térmica del proyecto con los obtenidos mediante ensayo.

3.1.2.5 Ensayos realizados.

La realización de los ensayos se ha visto dificultada por el “confinamiento” y por la situación de ventilación permanente después del mismo lo que ha provocado que las temperaturas interiores fueran más bajas de lo habitual. Esto dificulta que la diferencia de temperaturas interior-exterior alcance los 15°C, lo que resta fiabilidad a los resultados. Otra dificultad ha sido encontrar el paramento donde realizar los ensayos para lo que se ha contado con la inestimable colaboración del personal de mantenimiento de los edificios gracias al Vicerrector del Campus de Soria.

Los ensayos realizados son los de la figura 3.13 y la tabla 3.11.

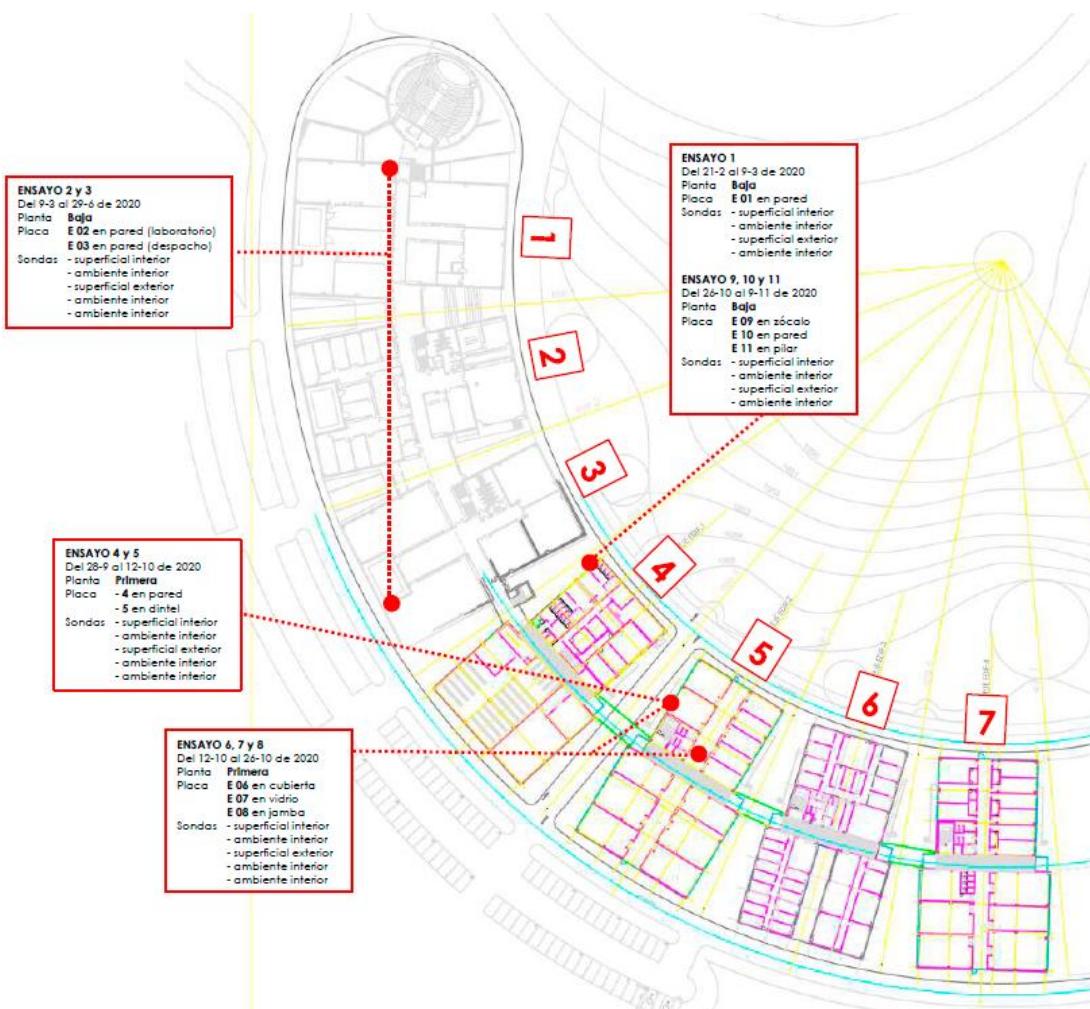


Figure 3.13: Plano de situación de los ensayos realizados.

ensayo	fecha inicio	fecha finalización	cerramiento	Localización	U W/m ² K
e20in_01	21-feb-20	09-mar-20	fachada tipo 1 fase 2	planta baja edificio 4 (vestuarios)	0,81
e20in_02	09-mar-20	29-jun-20	fachada tipo 2 fase 1	planta baja edificio 1 (laboratorios)	0,49
e20in_03	09-mar-20	29-jun-20	fachada tipo 1 fase 1	planta baja edificio 3, fachada a patio interior (despacho)	0,38
e20in_04	28-sep-20	13-oct-20	fachada tipo 1 fase 2	planta primera edificio 5 (taller de herramientas)	0,54
e20in_05	28-sep-20	13-oct-20	dintel fachada tipo 1 fase 2	planta primera edificio 5 (taller de herramientas)	0,70
e20in_06	13-oct-20	26-oct.20	cubierta	planta primera edificio 5 (forjado de cubierta)	Sin resultado
e20in_07	13-oct-20	26-oct.20	fachada tipo 1 fase 2	planta primera edificio 5 (despacho)	2,66
e20in_08	13-oct-20	26-oct.20	fachada tipo 1 fase 2	planta primera edificio 5 (despacho)	1,56
e20in_09	26-oct-20	09-nov-20	fachada tipo 2 fase 2	planta baja edificio 4 (vestuarios)	0,58
e20in_10	26-oct-20	09-nov-20	fachada tipo 1 fase 2	planta baja edificio 4 (vestuarios)	Sin resultado
e20in_11	26-oct-20	09-nov-20	fachada tipo 1 fase 2	planta baja edificio 4 (vestuarios)	Sin resultado

Tabla 3.11. Tabla de ensayos y resultados.

Como ya se ha comentado los ensayos se realizaron donde se pudieron situar las placas de flujo térmico y termopares y cuando se empezó la campaña de ensayos hubo que pararla debido al *confinamiento*. Si comparamos los resultados de los ensayos con los obtenidos analíticamente sacamos las siguientes conclusiones:

- Ensayo e20in-01. Este ensayo se realizó en una zona de fachada coincidente con el entramado de perfiles de chapa del trasdosado ya que con la cámara termográfica se había comprobado que se producía un puente térmico, no muy significativo, y el resultado del ensayo muestra que el valor de la transmitancia $0,81 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ es superior al previsto de $0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, que se había calculado.
- Ensayo e20in-02. Este ensayo se ha realizado en una zona de fachada de los edificios de la fase primera que estaba chapada de piedra arenisca, el resultado de $U = 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, que es prácticamente igual al valor calculado de $0,47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y al valor del proyecto de $0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Ensayo e20in-03. Este ensayo se ha realizado en una zona de fachada con acabado revocado de los edificios de la primera fase y el resultado da un valor de transmitancia de $0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ superior al calculado y de proyecto que coinciden en $0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Sería necesario perforar para comprobar si hay cámara de aire y aislamiento o solamente cámara de aire ya que el valor resultante del ensayo coincide con el valor de transmitancia calculado si se hubiera colocado una hoja de material aislante de mayor espesor.
- Ensayo e20in-04. Este ensayo se ha realizado en una zona de fachada revocada de un edificio de la fase segunda y el resultado del ensayo de un valor de transmitancia de $0,54 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, semejante al valor calculado de $0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ algo superior al valor de proyecto porque se modificó el sistema de la fachada.
- Ensayo e20in-05. Este ensayo se ha realizado en el dintel de una de las ventanas de la segunda fase. Como ya se ha comentado, en esta segunda fase no se colocaron persianas enrollables y por tanto no hay cajoneras y en el proyecto se diseñó un detalle constructivo en el que el aislamiento, tanto en dintel como en jambas y repisa, llegaba hasta la carpintería para minimizar el efecto del puente térmico, lo que se ha conseguido ya que el valor de transmitancia de $0,70 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ es superior al de la fachada con un valor calculado de U de $0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Ensayo e20in-06. Este ensayo se intentó realizar en la cubierta, se obtuvieron datos de la placa de flujo y la medición de la temperatura superficial interior de la placa de flujo, pero las demás sondas de temperatura se desconectaron, se movieron o proporcionaron resultados incorrectos por lo que no se ha podido obtener el valor de la transmitancia de este cerramiento.
- Ensayo e20in-07. Este ensayo se realizó en el vidrio de una ventana de la fase segunda al comprobar que la temperatura superficial era más alta de la esperada si el vidrio tuviese los valores de transmitancia que se indican en el proyecto y dio un resultado de $2,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Ensayo e20in-08. Este ensayo se ha realizado en una zona de puente térmico de la jamba de la ventana y del pilar, con encuentro de un tabique y ha dado un resultado de transmitancia $1,56 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, más elevado que el K del cerramiento ciego de fachada, posiblemente debido a que el encuentro de tantos elementos puede haber ocasionado que la hoja de material aislante presente un espesor menor que en otras zonas.
- Ensayo e20in-09. Este ensayo se ha realizado en una zona del zócalo de hormigón de la segunda fase y el valor de transmitancia de $0,58 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ es sensiblemente igual al valor calculado de $0,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, aunque diferente al valor de proyecto ya que en el zócalo hubo un cambio, en el proyecto figuraba un panel prefabricado de hormigón y se ejecutó un zócalo de hormigón “in situ”.

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos en los ensayos están muy cercanos a los calculados en los cerramientos tipo, no tanto en los puentes térmicos donde se detecta que los

valores de transmitancia son más elevados que en el cerramiento tipo, lo que indica que el procedimiento de ensayo es válido para conocer la transmitancia térmica de los cerramientos y localizar los puentes térmicos.

3.1.2.6 Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.

En algunas zonas de los cerramientos la resistencia térmica, normalmente uniforme, cambia significativamente por la presencia de puentes térmicos. La norma UNE-EN ISO 6946⁷ incluye un método de cálculo simplificado para algunas situaciones en las que el cerramiento no está compuesto por capas homogéneas. El Documento Básico HE⁸ establece la clasificación tipológica siguiente de los puentes térmicos:

a) Puentes térmicos integrados en los cerramientos:

- i) pilares integrados en los cerramientos de las fachadas;*
- ii) contorno de huecos y lucernarios;*
- iii) cajas de persianas;*

b) Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:

- i) frentes de forjado en las fachadas;*
- ii) uniones de cubiertas con fachadas;*
- iii) uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;*
- vi) unión de fachada con losa o solera;*

c) Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en:

- i) esquinas entrantes;*
- ii) esquinas salientes;*

En los edificios se han identificado ocho puentes térmicos lineales en la fase primera y diez puentes térmicos lineales en la fase segunda mediante termografía, algunos de los cuales se corresponden con los indicados en el CTE. En los edificios no hay elementos como balcones o terrazas que presentan numerosos puentes térmicos, muy habituales en los edificios residenciales, y que son elementos para los que es difícil, en general, encontrar una propuesta constructiva de rehabilitación.

3.1.2.7 Análisis termográfico de puentes térmicos.

La termografía es una técnica no invasiva que permite conocer la temperatura superficial de los cuerpos mediante la observación de la radiación infrarroja que emiten, sin requerir contacto con ellos. En lo referente a las características térmicas de los cerramientos la norma que regula su uso es la EN 13178⁹ (Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos). La Norma traspone el contenido de la anterior Norma ISO 6781¹⁰.

La radiación infrarroja que emiten los cuerpos está relacionada con su temperatura. Los valores de radiación se obtienen mediante una cámara termográfica. Conociendo esos valores se deduce la temperatura superficial del cuerpo observado mediante la relación que establece la Ley de Stefan-Boltzmann.

La observación realizada por la cámara se corrige asignando un valor de emisividad de la superficie observada y un valor de temperatura aparente reflejada, así como la Temperatura interior y la Humedad relativa. Con ello se obtiene una imagen termográfica que asigna un valor de temperatura superficial a todos los puntos observados en un instante.

La asignación de los valores de emisividad y temperatura aparente reflejada pueden inducir a errores de precisión, que también depende de las características de la cámara. Sin embargo, la técnica presenta dos ventajas: ofrece gran cantidad de información de forma instantánea y no es

necesario el contacto con las superficies que se estudian. Es un método muy adecuado para detectar gradientes térmicos y discontinuidades, ocultos en el espectro de radiación visible.

A través de la interpretación de la información obtenida se puede detectar la presencia de humedad en una zona de la superficie, discontinuidades en el cerramiento que provocan puentes térmicos y observar la transición de una temperatura a otra de las superficies. Resulta de especial utilidad como método complementario de otros ensayos, en la localización de puntos singulares o la comprobación de la idoneidad de la ubicación de puntos de medición.

La termografía en este proyecto se ha utilizado para detectar los puentes térmicos de los cerramientos exteriores, para evaluar mejor la propuesta de intervención.

En las fachadas realizadas en la fase primera se han podido detectar a este respecto:

- Los puentes térmicos de frente de forjados y pilares, aunque el puente térmico de los pilares es diferente según la zona.
- Las carpinterías de los huecos con valores de transmitancia superiores a los de los vidrios.
- Los puentes térmicos de alfeizar, jambas y cajoneras de persianas.
- Cambio de temperatura que se produce en el entramado del trasdosado de PYL



Figura 3.14. Termografía e imagen exterior de la fase 1.

En las fachadas realizadas en la fase segunda se han podido detectar a este respecto:

- Los puentes térmicos de frente de forjados y pilares, aunque el puente térmico de los pilares es diferente según la zona.
- Las carpinterías de los huecos con valores de transmitancia diferentes a las de los vidrios.
- La solución constructiva de los huecos es situar la carpintería a haces exteriores y rematar, repisa, jambas y alfeizar con una lámina metálica, doblando el material aislante hasta la carpintería, en obra se empleó placa de yeso laminado en vez de metal, pero se puede ver que en el entorno de los huecos no se produce el puente térmico tan importante que se puede encontrar en los huecos de la primera fase.
- También se ha localizado otro puente térmico al realizar termografías interiores de los cerramientos debido al entramado del trasdosado de PYL (figura 3.16).

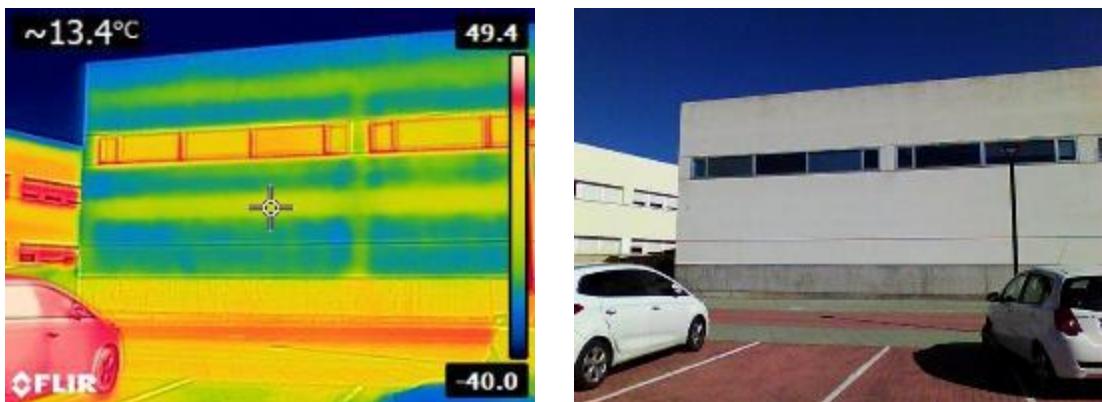


Figura 3.15. Termografía e imagen exterior de la fase 2 donde se aprecia el puente térmico de la estructura.

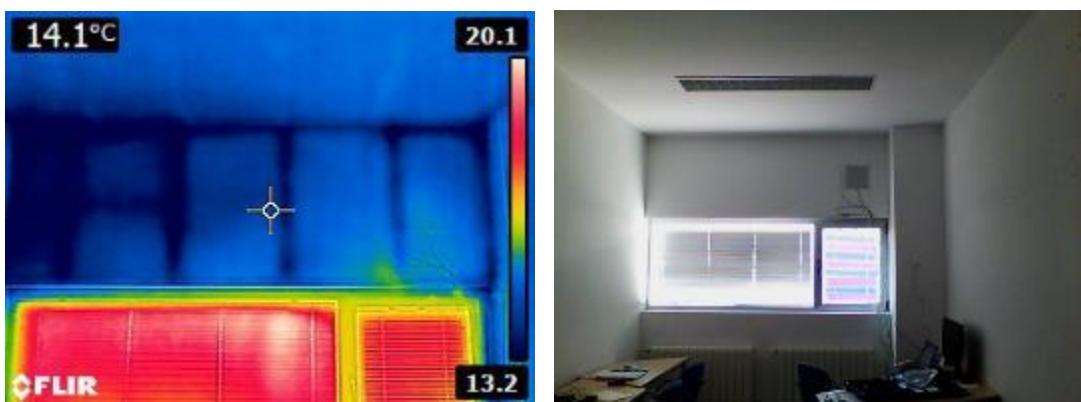


Figura 3.16. Inspección de gradientes térmicos, puente térmico del entramado de PYL.

La medición in-situ del comportamiento energético de las heterogeneidades de un cerramiento, también denominados *puentes térmicos*, no se encuentra normalizada en la actualidad. Mientras las normas ISO 9869-1 e ISO 9869-2¹¹ desarrollan los métodos de placa de flujo y termográfico respectivamente para cerramientos opacos, los puentes térmicos únicamente se calculan de forma teórica por medio de la norma UNE-EN ISO 14863 o se toman valores directos de los atlas de puentes térmicos editados por diferentes organismos.

En este proyecto de investigación se ha iniciado el desarrollo una metodología que tiene por objetivo la definición del puente térmico por medio de mediciones in-situ, donde se aplican principios de la técnica de termografía IR cualitativa, del método de placa de flujo, del método termométrico y la simulación informática de puentes térmicos por medio de software especializado.

El método se estructura en las siguientes fases:

- inspección de la zona por medio de termografía IR de baja longitud de onda (7-13,5 μ m) para la comprobación de la temperatura superficial y delimitación de la zona a estudiar,
- ubicación de dispositivos y medición de temperaturas superficiales por medio de termopares tipo K y flujos de calor por medio de placas de flujo en un intervalo no inferior a 72 horas,
- tratamiento y clasificación de los datos tomados por los dispositivos,
- simulación virtual del puente térmico por medio de la aplicación Therm versión 7.7,
- calibración del modelo obtenido con los datos tomados en la medición in-situ y
- tratamiento de los datos corregidos en la simulación y su transformación en flujos de calor lineales.

Los flujos de calor lineales, ψ , en $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$, serán relativos al cerramiento tipo donde se encuentren ubicados y cuyos datos se tomarán de los ensayos realizados o de los cálculos teóricos realizados según la norma UNE-EN ISO 6946.

El ensayo realizado en el proyecto relacionado con puentes térmicos es el ensayo e20in-08 donde se define un pilar embutido en la fachada exterior con jambas de hueco de ventana a cada lado.

Este detalle constructivo, definido a continuación en plano, fotografía y termografía, es muy recurrente en edificios de uso educativo y administrativo.

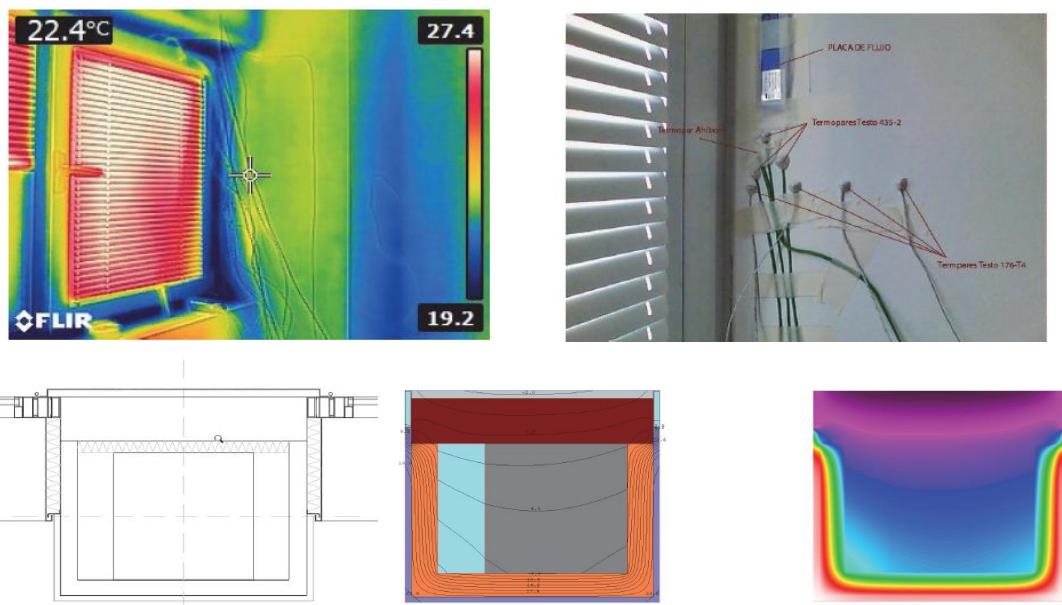


Figura 3.17. Termografía, termopares y placa de flujo térmico, detalle constructivo, isoterma y termografía con Therm.

3.1.2.8 Cálculo de la transmisión térmica lineal de los puentes térmicos identificados.

El programa informático Therm¹² permite el cálculo según el método de la norma ISO 10211. A partir de la geometría y propiedades de los componentes del edificio se pueden obtener, para unas condiciones de contorno estacionarias, el gradiente de temperaturas resultante, así como los valores del flujo de calor que lo atraviesan.

En las tablas 3.12 y 3.13 se comparan los valores de transmisión térmica lineal de los puentes térmicos del atlas de puentes térmicos del documento DA DB HE -3 con los valores de transmisión calculados con el programa Therm. Los puentes térmicos encontrados en los edificios que no se han localizado en el atlas del DA son numerosos por ese motivo en las tablas se han separado, en primer lugar, se han incluido los valores de los puentes térmicos que se han localizado en el DA y después se han incluido los que no, de manera separada para la fase primera y para la fase segunda de la construcción, debido a que son diferentes.

En las tablas se incluye, por columnas, la siguiente información: la denominación que se da al puente térmico en este proyecto, la descripción de este, el gráfico simplificado del DA DB HE/3, el valor de transmitancia térmica lineal del DA, la gráfica de temperaturas simulada con Therm y el valor de transmitancia que se ha calculado con Therm.

Puente térmico	DA-DB-HE-3		Cálculo con THERM	
	Esquema	Ψ W/m·K	Gráfica de temperaturas	Ψ W/m·K
PTA-11 Pilar integrado en fachada		1,03		0,53
PTA-12 Alfeizar ventanas		0,20		0,28
PTA-13 Jamba ventanas		0,47		0,30
PTA-14 Dintel hueco, con cajonera de persiana		0,92		0,90
PTB-11 Frente forjado cubierta		0,93		0,69
PTB-12 Frente forjado		1,14		0,81
	sin definición atlas puentes térmicos		Cálculo con THERM	
	Esquema	Ψ W/m·K	Gráfica de temperaturas	Ψ W/m·K
PTB-13 Frente forjado suelo				0,25
PTC-11 Pilar en esquina				0,55

Tabla 3.12. Puentes térmicos edificios fase 1, valores de transmitancia térmica lineal

Puente térmico	DA-DB-HE-3		Cálculo con THERM	
	Esquema	Ψ W/m·K	Gráfica de temperaturas	Ψ W/m·K
PTB-21 Frente forjado cubierta		0,93		0,86
PTB-22 Frente forjado		1,07		1,40
sin definición atlas puentes térmicos		Cálculo con THERM		
PTA-21 Pilar integrado en fachada	Esquema	Ψ W/m·K	Gráfica de temperaturas	Ψ W/m·K
				0,31
PTA-22-PB Alfeizar ventanas				0,41
PTA-22-P1 Alfeizar ventanas				0,31
PTA-23 Jamba ventanas				0,29
PTA-24 Dintel hueco				0,40
PTB-23 Frente forjado suelo				0,37
PTC-21 Pilar en esquina				0,38
PT-2PYL				0,19

Tabla 3.13. Puentes térmicos edificios fase 2, valores de transmitancia térmica lineal.

Al comparar los resultados de transmitancia térmica lineal hay diferencias importantes entre los valores del atlas del DA y los calculados con el programa de simulación, lo que era previsible ya que en el atlas se dan valores que puedan ser utilizados de manera genérica con diferentes materiales y/o sistemas y en el cálculo se ha introducido la información sobre materiales, sistemas y diseños específicos de los detalles de los proyectos.

Los puentes térmicos localizados son los habituales en los edificios que se construían en estos años con la norma NBE CT-79 si bien, en la fase segunda de construcción se ha estudiado de manera especial minimizar la influencia de los puentes térmicos del encuentro carpintería/cerramiento opaco de fachada.

En el caso de la fachada con trasdosado autoportante con PYL se ha encontrado que se produce un puente térmico en la zona del entramado que se ha incluido en el estudio realizado, puente térmico del que no se ha encontrado en documentación científica y que se ha localizado en las imágenes termográficas y por los ensayos realizados en el mismo tipo de cerramiento en una zona sin entramado y situando la placa de flujo sobre del entramado.

3.1.3 Permeabilidad de la envolvente.

Otra de las características importantes de los cerramientos desde el punto de vista térmico es la permeabilidad al aire de los cerramientos. En general se estima que los cerramientos de fábrica con juntas continuas de mortero y con revestimientos continuos de yeso, no son permeables al paso del aire y por eso se analiza solamente la permeabilidad al aire de las ventanas y elementos acristalados ya que por su diseño presentan numerosas juntas lineales entre las zonas fijas y practicables y entre los elementos de carpintería y de acristalamiento.

Los elementos acristalados se clasifican según lo establecido en la norma UNE-EN 12207 “Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire clasificación” en función el volumen de aire que atraviesa por sus juntas por m^2 de superficie para una diferencia de presión determinada. Las ventanas se ensayan en laboratorio antes de su colocación en obra para conocer su clasificación según el procedimiento de la norma UNE-EN 1026 “Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo”.

La manera de conocer la permeabilidad al aire de las ventanas de un edificio es conseguir los datos de los ensayos efectuados antes de su colocación en obra o bien desmontar una ventana de cada tipo y proceder a realizar el ensayo. Otro sistema indirecto es establecer la permeabilidad al aire del conjunto de cerramientos y conductos, sellar las ventanas, realizar nuevamente el ensayo y estimar que la diferencia es el volumen de aire que atraviesa las ventanas.

En general, cabe destacar que los resultados obtenidos al minimizar las pérdidas térmicas por transmisión están elevando la repercusión energética de las pérdidas por filtraciones, que pueden aumentar descontroladamente el consumo energético. En este sentido, la localización y cuantificación de los focos de filtración en la envolvente del edificio es clave para comprender y controlar la infiltración global de aire.

No se han realizado ensayos para conocer la permeabilidad al aire y en los cálculos y simulaciones se adoptados los valores del proyecto, teniendo en cuenta que las carpinterías tienen junta de ruptura de puente térmico y presentan varios solapes y juntas elásticas (figura 3.8) parece que las ventanas instaladas responden a las características de los proyectos:

- Fase primera, clase de acristalamiento de huecos según la permeabilidad al paso del aire, clase A3 (reforzada). En esta fase se ha observado que las cajoneras de las persianas han sido selladas y se han incluido juntas de cierre para evitar el paso de aire a través de las mismas. Estas ventanas cumplirían la exigencia establecida de permeabilidad al aire en la tabla 3.1.3.a-HE1 y la permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,lim}$) en la zona climática de invierno E es de $9m^3/h.m^2$, que se corresponde con la clase 3.

- Fase segunda, no se ha localizado la información específica pero dado el uso del edificio se ha considerado que la carpintería es de clase A3 en despachos, aulas, seminarios, y al menos de clase A1 en aseos, según sería necesario para el cumplimiento de la NBC CA-88.

3.1.4 Simulación simplificada del cálculo del K_{lim} para comparar demanda debida a la transmisión térmica de los cerramientos en el estado actual con el estándar de anexo E del DB HE1 CTE.

Para comprobar la disminución de la demanda se va utilizar el procedimiento de cálculo del K_{lim} del CTE. De esta forma se puede analizar la disminución de la demanda debida a la transmisión directa por los cerramientos y puentes térmicos desde los valores de transmitancia actuales en los dos edificios seleccionados: el tres de la fase primera y el uno de la fase segunda, tomando como referencia los valores de transmitancia recomendados en el anexo E del DB HE-1 del CTE. El cálculo se ha realizado para dos estados:

- Estado Actual, EA, con los valores de transmitancia que se han calculado con la información de los proyectos, el programa Therm y los ensayos realizados.
- Estado Rehabilitado, propuesta, ERp, con los valores de transmitancia recomendados en el anexo E DB HE-1 del CTE, suponiendo que es posible constructiva y económicamente eliminar los puentes térmicos que hay en los edificios.

En las tablas que hay a continuación se detallan los datos que se han utilizado para hacer estas simulaciones y los resultados se agrupado los resultados siguiendo la clasificación de cerramientos del DB HE1 del CTE: fachadas, huecos, puentes térmicos (que afectan principalmente al cerramiento de fachada, aunque los frentes de forjado de cubierta y el frente de forjado de cubierta y de suelo es común con los cerramientos indicados) cubierta y suelo.

Los datos y resultados se han traslado para el edificio de la primera fase a la tabla 3.14 y para el edificio de la segunda fase a la tabla 3.15.

Superficie total envolvente		3.312 m ²	Volumen total	7.600,97 m ³	U anexo E	
Compacidad V/A		2,30 m ³ /m ²	K _{lim}	0,50 W/m ² K	ERp	
fachadas		A _M m ²	U _M W/m ² K	EA A x U _M W/K	U _M W/m ² K	ERp A x U _M W/K
fachada tipo 1_E		87,60	0,48	42,05	0,23	20,15
fachada tipo 2_E		136,60	0,47	64,20	0,23	31,42
fachada tipo 1_SE		242,60	0,48	116,45	0,23	55,80
fachada tipo 1_NO		210,72	0,48	101,15	0,23	48,47
fachada tipo 1_O		39,10	0,48	18,77	0,23	8,99
fachada tipo 1_SO		86,71	0,48	41,62	0,23	19,94
fachada tipo 2_SO		117,24	0,47	55,10	0,23	26,97
total fachada opaca		920,57		439,34		211,73
huecos		A _{huecos} m ²	U _H W/m ² K	EA A x U _H W/K	U _H W/m ² K	ERp A x U _H W/K
huecos_E		27,84	3,95	109,97	1,5	41,76
huecos_SE		67,66	3,95	267,26	1,5	101,49
huecos_NO		67,05	3,95	264,85	1,5	100,58
huecos_SO		21,01	3,95	82,99	1,5	31,52
total huecos		155,72		725,07		275,34
puentes térmicos	nº	longitud m		EA Ψ_i l x ψ W/mK	ERp Ψ_i l x ψ W/mK	
frente forjado cubierta		144,25	0,69	99,53	0	0,00
frente forjado		144,25	0,81	116,84	0	0,00
frente forjado suelo		144,25	0,25	36,06	0	0,00
pilar en fachada	14	6,80	95,20	50,46	0	0,00
pilar en esquina	6	6,80	40,80	22,44	0	0,00
jamba			49,28	0,30	14,78	0,00
alfeizar			122,50	0,28	34,30	0,00
capialzado			134,75	0,90	121,28	0,00
total puentes térmicos		875,28		495,69		0,00
cubierta		A _C m ²	U _C W/m ² K	EA A x U _C W/K	U _C W/m ² K	ERp A x U _C W/K
cubierta		1117,79	0,58	648,32	0,19	212,38
total cubierta		1117,79		648,32		212,38
suelo		A _S m ²	U _S W/m ² K	EA A x U _S W/K	U _S W/m ² K	ERp A x U _S W/K
forjado sobre cámara		1117,79	0,62	693,03	0,59	659,50
total suelo		1117,79		693,03		659,50
	superficie	% superficie	demand demand actual	% demanda actual	% disminución demand	% disminución demand
fachada opaca+ huecos+ puente lineal	1076,29	32%	1.592,30	53%	69%	
cubierta+puentes lineales	1117,79	34%	698,08	23%	70%	
suelo+puentes lineales	1117,79	34%	711,06	24%	7%	
$K = \sum_x b_{tr,x} \left[\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} \right] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$				0,91		0,41

Tabla 3.14. Análisis comparativo K_{lim} estados EA y ERp, edificio fase 1.

Superficie total envolvente		3.117.52 m ²	Volumen	6.797.08 m ³	K _{LIM}	0.49 W/m ² K	U anexo E	
Compacidad V/A		2.10 m ³ /m ²						
fachadas		<i>A_M</i> m ²	<i>U_M</i> W/m ² K	<i>A x U_M</i> W/K	EA	ERp		
fachada tipo 1_NE		155.97	0.57	88.90	0.23	35.87		
fachada tipo 2_NE		29.71	0.60	17.83	0.23	6.83		
fachada tipo 1_SE		253.54	0.57	144.52	0.23	58.31		
fachada tipo 2_SE		48.29	0.60	28.98	0.23	11.11		
fachada tipo 1_O		256.63	0.57	146.28	0.23	59.02		
fachada tipo 2_O		48.88	0.60	29.33	0.23	11.24		
fachada tipo 1_SO		151.70	0.57	86.47	0.23	34.89		
fachada tipo 2_SO		28.89	0.60	17.34	0.23	6.65		
total fachada opaca		973.61		559.63		223.93		
huecos		<i>A_{huecos}</i> m ²	<i>U_H</i> W/m ² K	<i>A x U_H</i> W/K	EA	ERp		
huecos_NE		19.40	4.77	92.54	1.5	29.10		
huecos_SE		63.65	4.77	303.61	1.5	95.48		
huecos_O		37.23	4.77	177.59	1.5	55.85		
Huecos_SO		24.49	4.77	116.82	1.5	36.74		
total huecos		144.77		690.55		217.16		
puentes térmicos	nº	longitud m	Ψ_i W/mK	I x ψ W/K	EA	ERp		
frente forjado cubierta		131.90	0.86	113.43	0.00	0.00		
frente forjado		131.90	1.40	184.66	0.00	0.00		
frente forjado suelo		131.90	0.37	48.80	0.00	0.00		
pilar en fachada	14	6.80	95.20	0.31	29.51	0.00	0.00	
pilar en esquina	6	6.80	40.80	0.38	15.50	0.00	0.00	
jamba			52.00	0.29	15.08	0.00	0.00	
alfeizar			110.00	0.31	34.10	0.00	0.00	
dintel			110.00	0.40	44.00	0.00	0.00	
entramado trasdosado			1.625.93	0.19	308.93	0.00	0.00	
total puentes térmicos				794.02		0.00		
cubierta		<i>A_C</i> m ²	<i>U_C</i> W/m ² K	<i>A x U_C</i> W/K	EA	ERp		
cubierta		999.57	0.43	429.82	0.19	189.92		
total cubierta		999.57		429.82		189.92		
suelo		<i>A_S</i> m ²	<i>U_S</i> W/m ² K	<i>A x U_S</i> W/K	EA	ERp		
solera		999.57	0.68	679.71	0.59	589.75		
total suelo		999.57		679.71		589.75		
		superficie	% superficie	demand actual	% demanda actual	% disminución demand	% disminución demand	
fachada opaca+ huecos+ puente lineal	1.118.38	36%	1.963.08	62%	92%			
cubierta+puentes lineales	999.57	32%	486.53	15%	61%			
suelo+puentes lineales	999.57	32%	704.11	22%	16%			
$K = \sum_x b_{tr,x} \left[\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} \right] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$				1.01			0.39	

Tabla 3.15. Análisis comparativo K_{lim} estados EA y ERp, edificio fase 2.

Al analizar los resultados de las dos tablas se puede observar que todos los valores de transmitancia de los proyectos originales, aunque cumplían con las prescripciones de la norma NEB-CT-79, están por encima de los valores límite de transmitancia (U_{lim}) definidos en la tabla 3.1.1.a-HE1 para cada tipo de cerramiento de la envolvente térmica en la zona climática E. También, que el coeficiente

global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) del edificio supera ampliamente el valor (K_{lim}), indicado en la tabla 3.1.1.c-HE1.

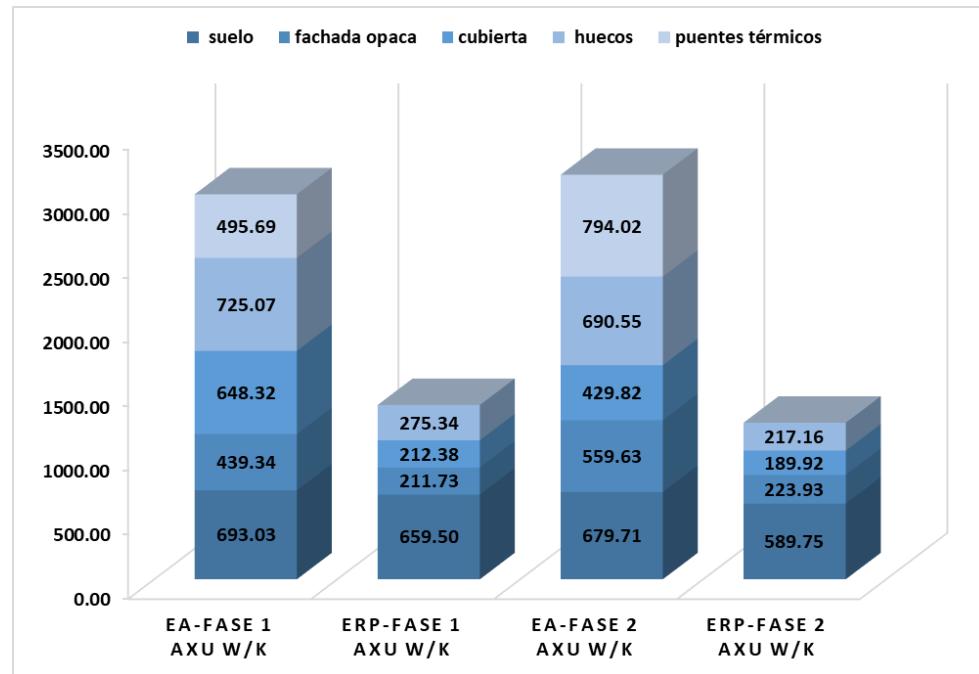


Figura 3.18. Resumen de los resultados de ambos edificios EA y ERp, en valores absolutos.

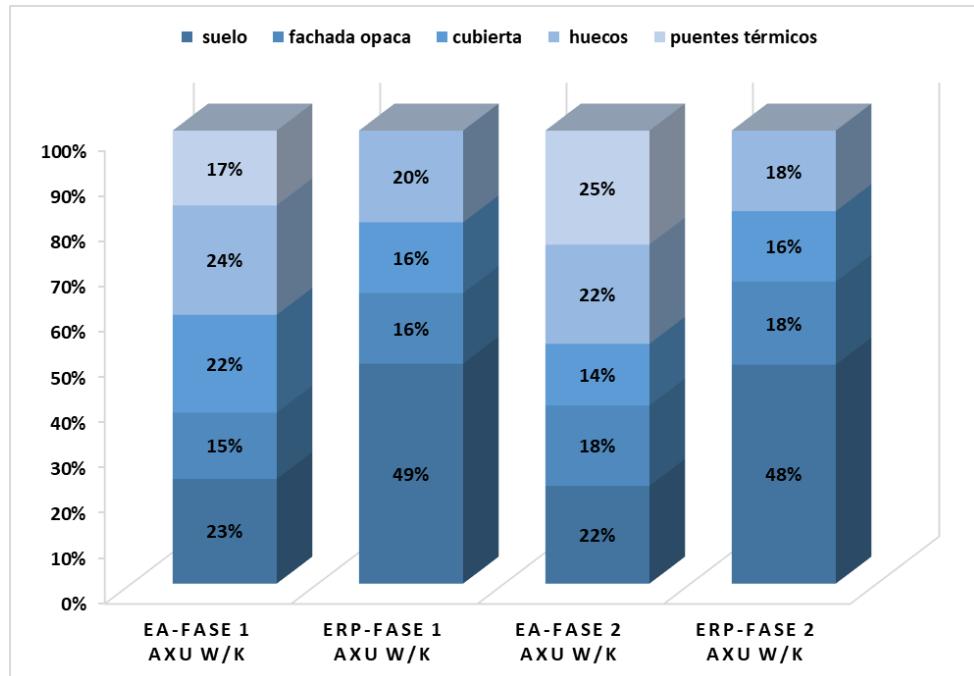


Figura 3.19. Resumen de los resultados de ambos edificios EA y ERp, en porcentaje

Los resultados de los valores de $K_{l_{im}}$ son diferentes para ambos edificios y con las propuestas, que son similares, se puede comprobar que el valor del coeficiente global disminuye en proporción mucho más en el edificio de fase segunda, principalmente debido al valor de la transmitancia de los huecos.

- Fase 1 $K_{lim} EA = 0,91 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $K_{lim} ERp = 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 - Fase 2 $K_{lim} EA = 1,01 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $K_{lim} ERp = 0,39 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

En los gráficos resumen de las figuras 3.18 y 3.19, donde figuran los valores finales para los distintos tipos de cerramiento en valores absolutos y en porcentajes, se puede comprobar que la disminución es significativa en ambos tipos de edificios, pero que la construcción y el diseño de los edificios hacen que los resultados sean diferentes. Las diferencias más significativas son:

- en el edificio de la fase primera la proporción de huecos respecto de fachada opaca es mayor que en el edificio de la fase segunda y aunque los huecos de la segunda fase presentan, según el proyecto, unos valores de transmitancia más elevados que los de la primera fase hay una diferencia importante en la trasmisión global por los huecos,
- el edificio de la fase segunda presenta más longitud de puentes térmicos, y las pérdidas por estos es significativamente mayor.

Lo que se puede apreciar es que las soluciones propuestas disminuyen significativamente la demanda para las dos tipologías de edificio y de forma muy similar.

3.2 Conclusiones parciales.

Una vez analizada la envolvente de los edificios desde el punto de vista térmico se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La primera, es que las dos fases del proyecto responden a las exigencias de la normativa en vigor NBE-CT-79 e incorporan en los cerramientos de la envolvente hojas de materiales aislante en fachada, cubierta y suelos y soluciones de acristalamiento doble en ventanas y puertas acristaladas con carpintería de aluminio con ruptura de puente térmico, que proporcionan un buen aislamiento térmico al conjunto superando las prestaciones mínimas que establece la normativa en vigor cuando se han ejecutado los edificios. En ambos proyectos se puede observar una preocupación por aislar térmicamente los edificios según las soluciones constructivas de los años en que se proyectaron.
- Sin embargo, si se comparan las prestaciones térmicas de los elementos de la envolvente con las indicadas en la tabla a de anexo E del DB HE1 como orientativas se puede comprobar que existen grandes diferencias en valores y que de rehabilitarse los edificios hasta el nivel que se indica, podría disminuir la demanda de forma considerable.

Las soluciones constructivas de cerramientos son diferentes en ambos edificios por lo que se van a analizar comparando las ventajas desde el punto térmico de una u otra solución.

- En la primera fase la solución es de dos hojas de fábrica de piezas cerámicas con cámara y aislamiento térmico entre ambas y en la segunda fase la hoja de fábrica, exterior, está trasdosada con placas de yeso laminado (PYL) con entramado autoportante con aislamiento térmico entre el entramado. En la solución de fachada de la primera fase se ha observado una continuidad en los valores de transmitancia de la solución constructiva, los valores son iguales o similares a los calculados y a los de los ensayos realizados. En la solución de la segunda fase se ha observado, por el interior, que hay una disminución del aislamiento térmico en las zonas del entramado (figura 3.16) debida posiblemente a que el entramado está arriostrado en la hoja de fábrica o a la discontinuidad en la colocación del aislamiento térmico en los perfiles del entramado y los valores de transmitancia calculados o ensayos difieren en parte de los previstos en el proyecto, aunque sea debido principalmente al cambio de la solución constructiva.
- Fachada, cerramiento acristalado. En ambas fases se ha utilizado vidrio doble con cámara de aire y carpintería de aluminio, con RPT. En el tratamiento de los huecos y obscurecimiento se pueden encontrar importantes diferencias:
 - En la primera fase, donde la fachada es de dos hojas de fábrica de ladrillo, la hoja interior dobla hasta la exterior en alfeizares y jambas con lo que se produce un puente térmico

importantes. Como obscurecimiento se utilizan persianas enrollables que presentan un puente térmico importante y una permeabilidad al aire elevada que ha sido subsanada, en parte, por el servicio de mantenimiento, que ha cerrado las aberturas.

- En la segunda fase, la carpintería se ha situado a haces exteriores, anclada en la hoja de fábrica exterior, y se ha colocado aislamiento térmico en jambas, alfeizar y dintel para disminuir la trasmisión por el puente térmico. En proyecto estas zonas se remataban con una chapa metálica que se cambia por PYL en la ejecución del proyecto. El obscurecimiento se consigue con persianas de lamas por el interior. Se intercalan las hojas practicables entre zonas fijas con lo que se evita la permeabilidad al aire que suele darse principalmente entre los cercos y las juntas practicables.

En los proyectos los valores de transmitancia son sensiblemente diferentes, en la fase segunda se indican valores de transmitancia elevados que no parecían corresponder con el tipo de carpintería, la dimensión del elemento de RPT y con los tipos de vidrio. Por este motivo se ha realizado un ensayo en el vidrio de esta segunda fase y el valor de transmitancia de $2,44 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ por lo que el hueco podría presentar un valor de transmitancia próxima a $3,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, aunque en los cálculos y simulaciones se ha empleado los datos que figuran en el proyecto por no haber podido realizar más ensayos.

- Cubierta. En ambas fases hay una solución de cubierta plana, invertida con protección de grava, excepto en el edificio situado más al este. La capa de material aislante, como en el resto de los cerramientos, presenta un espesor y/o características inferiores a las que son necesarias para satisfacer las prestaciones del CTE y la solución presenta un importante puente térmico entre fachada y cubierta. Las claraboyas y lucernarios presentan unos valores de transmitancia térmica elevados.

- Suelos. Debido a que en ambas fases se ha colocado una capa de material aislante las prestaciones en ambas fases están próximas a la exigencia del CTE. En la primera fase se trata de un forjado sobre cámara de aire no ventilada o espacio no habitable, con una capa de material aislante bajo el pavimento. En la fase segunda la cimentación es de losa por lo que el pavimento será continuo sobre la losa o una solera, sin cámara de aire, y según el proyecto también se incorpora una capa de material aislante bajo el pavimento.

- Puentes térmicos. En ambas fases hay numerosos puentes térmicos, aunque se han tratado de minimizar revistiendo la estructura, cantos de forjado y pilares, con una hoja de ladrillo hueco y en la fase segunda se ha proyectado una solución en que el aislamiento térmico de la fachada opaca llega hasta la carpintería tratando de minimizar el efecto de los puentes térmicos de los encuentros carpintería/fachada opaca. En la época en la que se proyectan los edificios es habitual que en los encuentros se produzcan puentes térmicos, si bien en la actualidad los sistemas constructivos prestan mayor atención a estos elementos para que no se produzca una disminución del aislamiento térmico en los mismos.

Respecto de los valores de transmitancia de los cerramientos opacos se ha podido comprobar que los cálculos realizados con los valores de los coeficientes de conductividad térmica y las características constructivas definidas en el proyecto son casi iguales a los valores obtenidos mediante el ensayo de placas de flujo térmico.

4 Propuesta de rehabilitación energética.

4.1 Criterios de intervención.

Una vez analizada la envolvente de los edificios desde el punto de vista térmico y constructivo y revisados los resultados de las tablas 3.13 y 3.14 sobre la disminución de la demanda de energía para acondicionar mejorando el aislamiento térmico de los cerramiento, se va a realizar una propuesta de rehabilitación energética de los cerramientos. Hay que tener en cuenta que para alcanzar los estándares de aislamiento térmico fijados, habría que introducir tantas modificaciones que convendría estudiar, desde el punto de vista económico, la realización de nuevos cerramientos nuevos, manteniendo la estructura.

En ambas fases la mayor parte de la fachada está revocada con otro tipo de cerramiento con el material visto, muy significativo en el diseño de las mismas. En la primera fase las fachadas entre edificios presentan un zócalo, hasta el alfeizar de las ventanas, de chapado de piedra arenisca vista y las otras dos fachadas están chapadas de piedra. En la segunda fase el zócalo en todas las fachadas es de hormigón visto, también hasta el alfeizar de las ventanas de la planta baja. Si se rehabilitaran energéticamente los edificios por el exterior supondría que estos revestimientos vistos, que definen las fachadas de los mismos, quedarían ocultos tras otro revestimiento, lo que cambiaría la imagen del Campus de Soria y alteraría el proyecto original de los Arquitectos. Por este motivo se van a proponer soluciones que no cambien radicalmente la imagen del Campus de Soria.

En la **zona opaca de las fachadas** la propuesta es trasdosar con material aislante por el interior con un trasdosado autoportante de PYL, que no utilice la hoja interior de fábrica de ladrillo como arriostramiento, incluidos pilares. El trasdosado llegara hasta el precero de las ventanas. En la fachada de la fase primera, al tratarse de dos hojas de fábrica con aislante entre ambas, no es necesario incluir una hoja de material aislante entre la fábrica actual y el trasdosado autoportante con material aislante, pero en la fachada de la fase segunda se incluirá una hoja de material aislante para evitar los puentes térmicos debidos al entramado del trasdosado. Mientras que en la fase primera se añadiría el trasdosado y en la fase segunda la propuesta es desmontar el actual trasdosado para volver a ejecutarlo con el objetivo de incluir entre la hoja de fábrica y el trasdosado la plancha de material aislante.

En ambos casos el espesor de las hojas de aislamiento térmico aumentaría considerablemente según se verá en las tablas en las que se calcula la transmitancia de la propuesta.

Esta propuesta implica modificar las instalaciones que van por la fachada especialmente la instalación de radiadores de calefacción, aunque esta modificación sería necesaria debido a que la demanda de calefacción se reduciría de forma considerable. En el caso de los edificios de la fase primera se originaría un puente térmico en la zona de conexión de la tabiquería con la hoja interior de la fachada que se tendrá en consideración en los cálculos.

Cubierta, cerramiento opaco. En ambas fases hay una solución de cubierta plana, invertida con protección de grava, excepto en el edificio situado más al este, y sin instalaciones. Esta solución se puede considerar como un acabado sobre el forjado de la última planta, y sustituirla por otra solución de cubierta no afectaría a otros sistemas, como en el caso de la fachada. Por lo que la propuesta es cambiar la actual solución por una cubierta ajardinada en la que, una vez comprobadas las sobrecargas y mejorado el acceso para mantenimiento, se pudiera utilizar, al menos en algunas zonas, como huerto o para plantación de semilleros.

Con esta solución se mejoraría el aislamiento térmico de la cubierta al colocar una capa de gran espesor, 20 centímetros, que no estaría en contacto con el agua de lluvia o la nieve, ya que se situaría por encima del forjado y debajo de la formación de pendiente y disminuirían las pérdidas debidas al puente térmico del encuentro de fachada cubierta.

Suelos. Debido a que en ambas fases se ha colocado una capa de material aislante y demoler el suelo para aumentar el espesor de capa de material aislante supondría en la práctica demoler también la tabiquería, desmontar puertas, afectaría también a las fachadas porque sería necesario subir algunas ventanas para mantener la altura de seguridad del dintel y afectaría a escaleras, ascensores y a la accesibilidad del edificio y dado que la transmitancia de este cerramiento es la que está más próxima a los valores indicados en la tabla a del anexo E del DB HE1, no se proponen reformas.

Huecos, acristalamiento en fachada y cubierta. Las carpinterías se han situado en diversa posición respecto de la fachada opaca, en la fase primera, al interior con persianas enrollables con cajonera y en la fase segunda a haces exteriores con persianas de lamas interiores, ambas con vidrios dobles. Se ha observado que las cajoneras de persiana suponen una importante filtración de aire y un puente térmico y se propone modificar las ventanas de la fase primera para situarlas al exterior con vidrio doble con cámara con argón, con vidrios bajo emisivo para ralentizar la salida de calor al exterior, en invierno, y para ralentizar la entrada de calor en verano, principalmente en las carpinterías orientadas al sur de forma que reciban el sol directamente, sin el sombreado que proporciona el resto de los edificios. Doblar el trasdosado interior de PYL y aislamiento térmico hasta la ventana y mejorar los puentes térmicos del contorno de la misma. En la fase segunda se podría mejorar el acristalamiento de las ventanas y mantener la carpintería, pero con este cambio no se podría estar por debajo de los valores de transmitancia máximos fijados en el DB HE1, como se verá más adelante en el texto.

El sistema de obscurecimiento se instalará por el interior y en los huecos orientados al sur se colocarán lamas horizontales de aluminio, si fuera necesario, para controlar el soleamiento excesivo en verano. Se propone colocar lamas solamente en esta orientación por los resultados de los ensayos realizados durante el *confinamiento*.

A principios de marzo se dejaron placas de flujo y sondas realizando ensayos que no se pudieron ir a recoger por el *confinamiento* y analizando los resultados del mes de mayo y de junio se puede comprobar que las temperaturas diurnas y nocturnas de Soria estuvieron entre 31 y 11 °C y debido a la inercia térmica de la estructura, principalmente, la temperatura interior varía solamente de 20,5 a 22,5 °C, tal y como se puede apreciar en la figura 4.1. Habría que realizar más ensayos, pero por el clima de Soria la propuesta es aislar térmicamente pensando en una situación de invierno más que de verano donde el control del soleamiento excesivo con los vidrios bajo emisivos podría ser suficiente para mantener el confort térmico.

En cubierta sería necesario sustituir las claraboyas y lucernarios por sistemas de acristalamiento con la misma transmitancia de fachada y control solar lo que se podría resolver con las nuevas ventanas para cubiertas planas protegidas con un sistema de cúpula como las claraboyas.

Respecto del acristalamiento de las pasarelas que comunican los edificios, se estima que reforzar el acristalamiento y modificar suelo y cubierta para añadir una capa de material aislante implicaría una modificación de su imagen, de su aspecto ligero que permite comunicar los edificios pero no suponen una barrera visual, por este motivo, la propuesta es no rehabilitar estos elementos, considerarlos como de paso y situar una puertas de acceso a las mismas con acristalamiento con las mismas características de aislamiento térmico que el resto de carpinterías, con cierre automático.

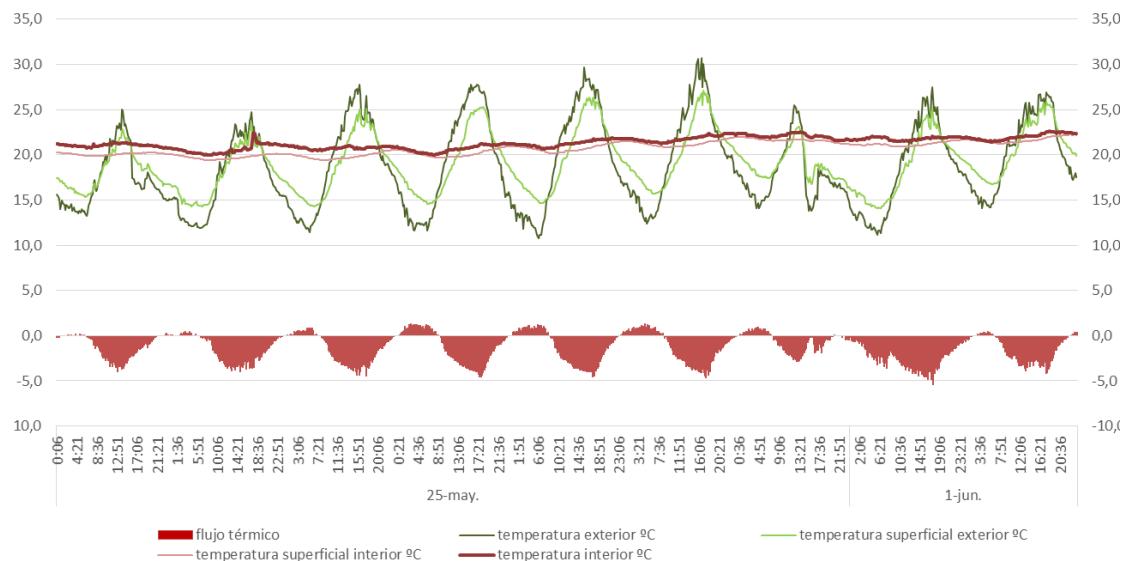


Figura 4.1. Gráfico de temperatura y flujo de calor del 25 de mayo al 2 de junio de 2020.

Esta propuesta de cambio de la carpintería implicaría estudiar el sistema de ventilación y adaptarlo a las prestaciones del CTE y supondría que en las ventanas habría que colocar aireadores o un sistema de apertura que permita el control de la ventilación.

Puentes térmicos. Aunque de los puentes térmicos ya se ha tratado en los apartados anteriores en este se van a tratar de manera específica. Los debidos al encuentro de la envolvente con la estructura, responden a las soluciones habituales en la época de los proyectos ya que los puentes térmicos de pilares exteriores y frentes de forjado han sido tratados pasando por el exterior una hoja de ladrillo hueco de menor espesor que la hoja exterior de la fachada lo que ha dado lugar a que se advierta en las termográficas, en ambas fases, puentes térmicos en estos elementos (figuras 3.14 y 3.15).

Estos puentes térmicos mejoraran, en el caso de los pilares, con el trasdosado de PYL y aislamiento propuesto y en el caso de los frentes de forjado, con el trasdosado con aislamiento térmico y con la colocación de una plancha de aislamiento térmico en la cara inferior de los forjados de planta primera y segunda de 1,00 metros por debajo de los forjados de suelo de planta primera y cubierta. El puente térmico del frente del forjado de cubierta también disminuirá con la colocación del material aislante de cubierta directamente sobre el forjado.

Los puentes térmicos del contorno de los huecos se resolverían con trasdosado de PYL con aislamiento, como en la fase segunda, pero incrementando el espesor del material aislante, tanto en fachada como en cubierta.

El puente térmico que se produce por la colocación del aislamiento entre el entramado del trasdosado de PYL en los edificios de la fase segunda se solucionará situando una capa continua de material aislante entre la hoja de fábrica y el entramado del trasdosado y ejecutando un trasdosado autoportante sin sujeción a la hoja de fábrica exterior.

Todas estas soluciones pueden minorar el efecto del puente térmico y en algunos casos eliminar el puente térmico, pero es muy difícil en las rehabilitaciones eliminar todos los puentes térmicos sin intervenciones que afecten de manera importante a sistemas que no forman parte de la envolvente.

Las secciones constructivas para los edificios de la fase primera y segunda serían las de la figura 4.2

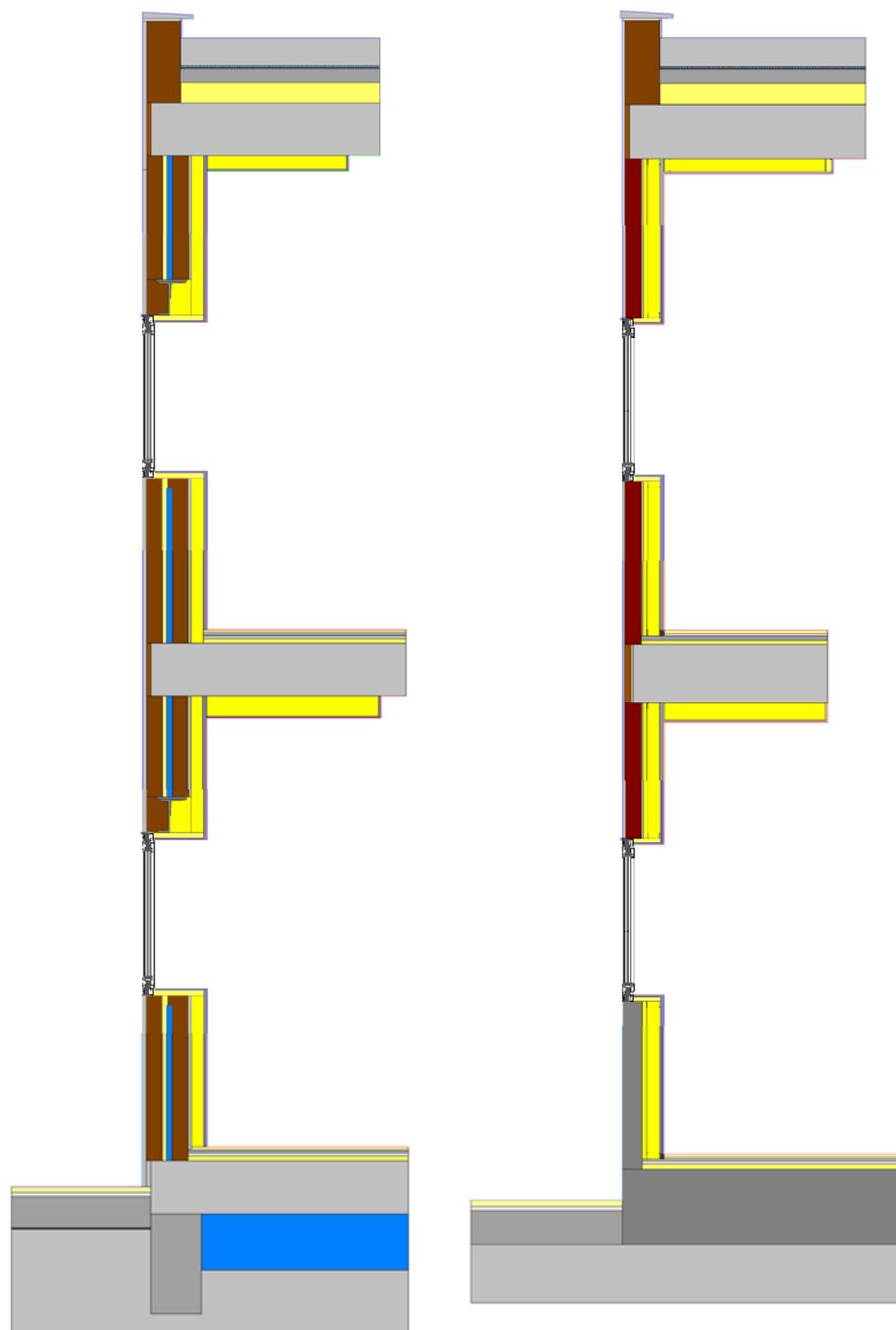


Figura 4.2. Secciones constructivas de la propuesta. A la izquierda propuesta de rehabilitación de fase 1. A la derecha, propuesta de rehabilitación de la fase 2.

4.2 Valores de transmitancia térmica.

De manera similar a como se calculó la transmitancia de los cerramientos actuales, en este apartado se va a calcular la transmitancia de la rehabilitación energética propuesta: cerramientos opacos de fachada y cubierta, acristalamiento y transmitancia lineal de los puentes térmicos.

4.2.1 Cálculos teóricos de transmitancia térmica de los cerramientos opacos.

Mediante el cálculo teórico se caracterizará el funcionamiento térmico de los diferentes elementos que componen la envolvente para el estado rehabilitado. El cálculo se ha realizado según el procedimiento establecido en el DB HE 1 y los documentos de aplicación DA DB-HE / 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

En las siguientes tablas figuran los cálculos teóricos del transmitancia U de los diferentes cerramientos opacos de fachada y cubierta según la propuesta de rehabilitación realizada.

Fachada F11R fase 1 tipo 1 trasdosado interior PYL con aislamiento	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
1/2 pie ladrillo Perforado	0,76	0,115	0,15			
poliuretano proyectado	0,023	0,03	1,29			
Cámara de aire no ventilada		0,04	0,17			
1/2 pie de ladrillo hueco doble	0,49	0,115	0,24			
Enlucido y guarnecido de yeso	0,30	0,015	0,05			
Cámara no ventilada		0,01	0,15			
lana vidrio trasdosado 120(90+2x15)	0,033	0,09	2,50			
PYL interior con BV trasdosado 120(90+2x15)	0,25	0,03	0,12			
Resistencia térmica superficial interior			0,13			
total	0,47		4,85	0,20	0,37	0,23

Tabla 4.1. Cálculo del coeficiente U cerramiento de fachada revocado de la fase 1, ER.

Fachada F12R fase 1 tipo 2 trasdosado interior PYL con aislamiento	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Piedra arenisca	2,33	0,03	0,01			
Mortero de cemento	1,400	0,03	0,02			
1/2 pie Ladrillo Perforado	0,756	0,115	0,15			
poliuretano proyectado	0,023	0,03	1,29			
Cámara de aire no ventilada		0,04	0,18			
1/2 pie de ladrillo hueco doble	0,488	0,115	0,24			
Enlucido y guarnecido de yeso	0,302	0,02	0,07			
cámara no ventilada		0,01	0,15			
lana vidrio trasdosado 120(90+2x15)	0,033	0,09	2,50			
PYL interior con BV trasdosado 120(90+2x15)	0,25	0,03	0,12			
Resistencia térmica superficial interior			0,13			
total	0,51		4,90	0,20	0,37	0,23

Tabla 4.2. Cálculo del coeficiente U fachada chapada de arenisca de la fase 1, ER.

Fachada F13R fase 1 tipo 3 trasdosado interior con PYL acústica	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
Hoja de bloque de termoarcilla de 24 cm	0,42	0,24	0,57			
Fibra de celulosa al interior	0,039	0,03	0,77			
Cámara no ventilada		0,01	0,15			
Trasdosoado 120(90+2x15) PYL interior con BV lana de roca	0,033	0,09	2,50			
PYL fon, acondicionamiento acústico	0,250	0,03	0,12			
Resistencia térmica superficial interior			0,13			
total	0,42		4,29	0,23	0,37	0,23

Tabla 4.3. Cálculo del coeficiente U cerramiento del muro curvo de termoarcilla, ER.

Cubierta C11R plana de la fase 1, ajardinada	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Tierra vegetal	0,52	0,2	0,38			
Capa separadora, geotextil		0,001				
Lámina drenante nodular de polietileno		0,02				
Capa separadora, geotextil		0,001				
Membrana impermeable	0,19	0,005	0,03			
Lámina separadora		0,001				
Mortero de cemento	1,8	0,02	0,01			
Hormigón ligero formación pendiente	2	0,06	0,05			
Capa separadora, geotextil		0,001				
Aislamiento elevada resistencia a compresión	0,033	0,20	4,55			
Forjado reticular (30+10)	0,73	0,1	0,14			
Resistencia térmica superficial interior			0,10			
total			6,79	0,15	0,33	0,19

Tabla 4.4. Cálculo del coeficiente U de la cubierta plana ajardinada de la fase 1, ER.

Fachada F21R fase 2 tipo1 aislamiento y trasdosado de PYL	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Revoco de mortero de cemento	1,40	0,02	0,01			
1/2 pie ladrillo Perforado	0,87	0,115	0,13			
Mortero de cemento	1,40	0,015	0,01			
Lana de vidrio	0,033	0,06	1,67			
Lana vidrio trasdosado 120(90+2x15)	0,033	0,09	2,5			
PYL interior con BV trasdosado 120(90+2x15)	0,25	0,03	0,12			
Resistencia térmica superficial interior			0,13			
total			0,33	4,99	0,20	0,37
						0,23

Tabla 4.5. Cálculo del coeficiente U cerramiento de fachada revocado de la fase 2, ER.

Fachada F22R fase 2 tipo 2 - aislamiento más trasdosado con PYL y aislamiento	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Muro de hormigón armado	1,63	0,15	0,09			
Lana de vidrio	0,033	0,06	1,67			
Lana vidrio trasdosado 120(90+2x15)	0,033	0,09	2,5			
PYL interior con BV trasdosado 120(90+2x15)	0,25	0,03	0,12			
Resistencia térmica superficial interior			0,13			
total			4,93	0,20	0,37	0,23

Tabla 4.6. Cálculo del coeficiente U del zócalo de hormigón visto de la fase 2, ER.

Cubierta C21R Cubierta plana fase 2 ajardinada	λ (W/m K)	e (m)	R (m ² K/W)	K (W/m ² K)	U_{lim} HE-1 (W/m ² K)	U orientativo Anejo E (W/m ² K)
Resistencia térmica superficial exterior			0,04			
Tierra vegetal	0,52	0,2	0,38			
Capa separadora, geotextil		0,001				
Lámina drenante nodular de polietileno		0,02				
Capa separadora, geotextil		0,001				
Membrana impermeable	0,19	0,005	0,03			
Lámina separadora		0,001				
Mortero de cemento	1,8	0,02	0,01			
Hormigón ligero formación pendiente	2	0,06	0,05			
Capa separadora, geotextil		0,001				
Aislamiento elevada resistencia a compresión	0,033	0,20	4,55			
Forjado (30 cm)			0,20			
Resistencia térmica superficial interior			0,10			
total			6,8	0,15	0,33	0,19

Tabla 4.7. Cálculo del coeficiente U del cerramiento de cubierta plana de la fase 2, ER.

4.2.2 Transmitancia térmica de huecos.

Para el cálculo de la transmitancia térmica de huecos (ventana, lucernario o puerta) U_H (W/m² K) se empleará la norma UNE EN ISO 10077.

$$U_H = \frac{A_{H,v} U_{H,v} + A_{H,m} U_{H,m} + l_v \psi_v + A_{H,p} U_{H,p} + l_p \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}} \quad (2)$$

La propuesta es cambiar la carpintería por otra con ruptura de puente térmico de 45 mm, clase 4, clase E1950 y clase C5, con triple junta de EPD en las hojas practicables, con un vidrio doble de 6-16-4 con vidrio bajo emisivo y cámara con argón al 90%:

$U_{H,M} = 1,00$ W/m² K (valor estimado) 75% superficie.

$U_{H,V} = 1,00$ W/m² K, un factor solar $g=0,38$ y un coeficiente de sombra de 0,44, 20 % de superficie.

$U_{H,P} = 0,5$ W/m² K panel de aluminio con aislamiento de 60 mm, 5% de superficie.

$\psi_v = 0,08$ W/m K (tabla 10 DA DB-HE1), se estiman 3 ml/m².

$\psi_p = 0,11$ W/m K (tabla 10 DA DB-HE1), se estiman 0,7 ml/m²

$$U_V = 1,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

En el caso de que solamente se sustituyera el vidrio y se mantuvieran las carpinterías. Si se estima que $U_{H,M} = 3,5$ W/m² K el valor de $U_V > 2$ W/m² K, valor superior al máximo indicado para la transmitancia de los huecos en esta zona climática que es de 1,8 W/m² K. Lo que implica que si se quiere llegar al nivel de prestaciones de la última versión del CTE es necesario cambiar las ventanas.

4.2.3 Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.

Los valores de transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos de la propuesta de rehabilitación se han calculado de igual manera que los puentes térmicos en el estado actual y los valores son los que figuran en las tablas 4.8 y 4.9, para la fase primera y la fase segunda respectivamente. La rehabilitación que se proponía era la de eliminar los puentes térmicos, pero con la solución de rehabilitación se ha minimizado la transmisión por algunos, pero no se ha eliminado porque la solución constructiva implicaría intervenir en más sistemas constructivos de los previstos. Estos puentes térmicos son los relativos a los puentes térmicos de los frentes de los forjados. Se genera un nuevo puente térmico al trasdosar la fachada de tabique a tabique.

Puente térmico	Sin definición Atlas de puentes térmico DA-DB-HE-3		Cálculo con THERM	
	esquema	Ψ W/mK	Grafica temperaturas	Ψ W/mK
PTA-11R Pilar integrado en fachada				-0,02
PTA-12R Alfeizar ventanas				0,05
PTA-13R Jamba ventanas				0,05
PTA-14R Dintel hueco				0,01
PTB-11R Frente forjado cubierta				0,27
PTB-12R Frente forjado				0,58
PTB-13R Frente forjado suelo				0,00
PTC-11R Pilar en esquina				0,01
PTC-12R				0,08

Tabla 4.8. Puentes térmicos fase 1, transmitancia térmica lineal, gráficas temperatura, ER.

Puente térmico	sin definición atlas puentes térmicos DA-DB-HE-3		Cálculo con THERM	
	esquema	Ψ W/mK	Grafica temperaturas	Ψ W/mK
PTA-21R Pilar integrado en fachada				0,04
PTA-23R Jamba ventanas		0,04		0,10
PTA-22R-PB Alfeizar ventanas				0,11
PTA-22R-P1 Alfeizar ventanas				0,09
PTA-14R Dintel hueco				0,10
PTB-21R Frente forjado cubierta				0,25
PTB-22R Frente forjado				0,75
PTB-23R Frente forjado suelo				0,29
PTC-21R Pilar en esquina				0,02
PT-2PYLR				0,00

Tabla 4.9. Puentes térmicos fase 2, transmitancia térmica lineal, gráficas temperatura, ER.

4.3 Simulación simplificada del cálculo del K_{lim} para comparar demanda debida a la trasmisión térmica de los cerramientos en el estado actual y en el estado rehabilitado.

De forma similar a como se ha calculado anteriormente se ha realizado el cálculo del K_{lim} del CTE para el Estado Actual EA y para la propuesta de Rehabilitación energética que se ha definido en los apartados anteriores ER.

En las tablas 4.10 y 4.11 se detallan los datos que se han utilizado para hacer estos cálculos simplificados y los resultados se han agrupados siguiendo la clasificación de cerramientos del DB HE1 del CTE: fachadas, huecos, puentes térmicos (que afectan principalmente al cerramiento de fachada, aunque los frentes de forjado de cubierta y el frente de forjado de cubierta y de suelo es común con los cerramientos indicados) cubierta y suelo.

Superficie total envolvente	3.311,87 m ²	Volumen total	7.600,97 m ³	U anexo E		
Compacidad V/A	2,30 m ³ /m ²	K _{LIM}	0,50 W/m ² K			
fachadas	A_M m²	U_M W/m²K	A x U_M W/K	EA	ER	
fachada tipo 1_E	87,60	0,48	42,05	0,20	17,52	
fachada tipo 2_E	136,60	0,47	64,20	0,20	27,32	
fachada tipo 1_SE	242,60	0,48	116,45	0,20	48,52	
fachada tipo 1_NO	210,72	0,48	101,15	0,20	42,14	
fachada tipo 1_O	39,10	0,48	18,77	0,20	7,82	
fachada tipo 1_SO	86,71	0,48	41,62	0,20	17,34	
fachada tipo 2_SO	117,24	0,47	55,10	0,20	23,45	
total fachada opaca	920,57		439,34		184,11	
huecos	A_{huecos} m²	U_H W/m²K	A x U_H W/K	EA	ER	
huecos_E	27,84	3,95	109,97	1,29	35,91	
huecos_SE	67,66	3,95	267,26	1,29	87,28	
huecos_NO	67,05	3,95	264,85	1,29	86,49	
huecos_SO	21,01	3,95	82,99	1,29	27,10	
total huecos	155,72		725,06		236,79	
puentes térmicos	nº	longitud	m	EA	ER	
frente forjado cubierta			144,25	0,69	99,53	
frente forjado			144,25	0,81	116,84	
frente forjado suelo			144,25	0,25	36,06	
pilar en fachada	14	6,80	95,20	0,53	50,46	
pilar en esquina	6	6,80	40,80	0,55	22,44	
jamba			49,28	0,30	14,78	
alfeizar			122,50	0,28	34,30	
dintel			134,75	0,90	121,28	
tabiqueria	10	6,80	148,23	0,00	0,00	
total puentes térmicos				495,69	144,82	
cubierta		A_C m²	U_C W/m²K	A x U_C W/K	EA	ER
cubierta		1117,79	0,58	648,32	0,15	167,67
total cubierta		1.117,79		648,32		167,67
suelo		A_S m²	U_S W/m²K	A x U_S W/K	EA	ER
forjado sobre cámara		1117,79	0,62	693,03	0,62	693,03
total suelo		1.117,79		693,03		693,03
	superficie	% superficie	demand actual	% demanda actual	% disminución demand	% disminución demand
fachada opaca+ huecos+ puente lineales	920,57	29%	1.592,29	53%	74%	52%
cubierta+puentes lineales	1117,79	35%	698,08	23%	76%	
suelo+puentes lineales	1117,79	34%	711,06	24%	3%	
$K = \sum_k b_{tr,x} \left[\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{xk} \psi_{x,k} \right] / \sum_k \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$			0,91			0,43

Tabla 4.10. Análisis comparativo U estado actual y rehabilitado, edificio fase 1.

Superficie total envolvente Compacidad V/A	3.117,52 m ² 2,18 m ³ /m ²	Volumen total K _{LIM}	6.797,08 m ³ 0,49 W/m ² K	U anexo E	
fachadas		<i>A_M</i> m ²	<i>U_M</i> W/m ² K	<i>A x U_M</i> W/K	<i>U_M</i> W/m ² K
fachada tipo 1_NE		155,97	0,57	88,90	0,20
fachada tipo 2_NE		29,71	0,60	17,83	0,20
fachada tipo 1_SE		253,54	0,57	144,52	0,20
fachada tipo 2_SE		48,29	0,60	28,98	0,20
fachada tipo 1_O		256,63	0,57	146,28	0,20
fachada tipo 2_O		48,88	0,60	29,33	0,20
fachada tipo 1_SO		151,70	0,57	86,47	0,20
fachada tipo 2_SO		28,89	0,60	17,34	0,20
total fachada opaca	973,61			559,63	194,72
huecos		<i>A_{huecos}</i> m ²	<i>U_H</i> W/m ² K	<i>A x U_H</i> W/K	<i>U_H</i> W/m ² K
huecos_NE	19,40		4,77	92,54	1,29
huecos_SE	63,65		4,77	303,61	1,29
huecos_O	37,23		4,77	177,59	1,29
Huecos_SO	24,49		4,77	116,82	1,29
total huecos	144,77			690,55	186,75
puentes térmicos			EA	ER	
			<i>Ψ_i</i> W/mK	<i>I x ψ</i> W/K	<i>Ψ_i</i> W/mK
frente forjado cubierta		131,90	0,86	113,43	0,25
frente forjado		131,90	1,40	184,66	0,75
frente forjado suelo		131,90	0,37	48,80	0,29
pilar en fachada	14	6,80	0,31	29,51	0,04
pilar en esquina	6	6,80	0,38	15,50	0,02
jamba		52,00	0,29	15,08	0,02
alfeizar		110,00	0,31	34,10	0,10
dintel		110,00	0,40	44,00	0,10
entramado trasdosado		1.625,93	0,19	308,93	0,00
total puentes térmicos				794,02	197,82
cubierta			EA	ER	
			<i>U_C</i> W/m ² K	<i>A x U_C</i> W/K	<i>U_C</i> W/m ² K
cubierta	999,57		0,43	429,82	0,15
total cubierta	999,57			429,82	145,94
suelo			EA	ER	
			<i>U_S</i> W/m ² K	<i>A x U_S</i> W/K	<i>U_S</i> W/m ² K
solera	999,57		0,68	679,71	0,47
total suelo	999,57			679,71	469,80
	superficie	% superficie	demandा actual	% demandа actual	% disminución demandа
fachada opaca+ huecos+ puente lineales	1.118,38	36%	2.211,32	65%	69%
cubierta+puentes lineales	999,57	32%	486,53	14%	70%
suelo+puentes lineales	999,57	32%	704,11	21%	33%
$K = \sum_x b_{tr,x} \left[\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} \right] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$			1,01		0,38

Tabla 4.11. Análisis comparativo U estado actual y rehabilitado, edificio fase 2.

Al analizar los resultados de las dos tablas se puede observar que todos los valores de transmitancia son inferiores a los valores límite de transmitancia (U_{lim}) definidos en la tabla 3.1.1.a-HE1 porque de otra forma no se podría llegar a un coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) que fuera inferior al valor (K_{lim}).

Los resultados de los valores de K_{lim} son diferentes para ambos edificios y con las propuestas, que son similares, se puede comprobar que el valor del coeficiente global disminuye en proporción similar a la propuesta que se analizó en el capítulo anterior, si bien en esta ocasión, al no poder eliminar totalmente los puentes térmicos, como se supuso, ha sido necesario mejorar el aislamiento térmico tanto de ventanas como de cubiertas respecto de los valores adoptados en un principio de U de la tabla a del anexo E del DB HE1.

- Fase 1 $K_{lim} EA = 0,91 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $K_{lim} ERp = 0,43 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Fase 2 $K_{lim} EA = 1,01 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $K_{lim} ERp = 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

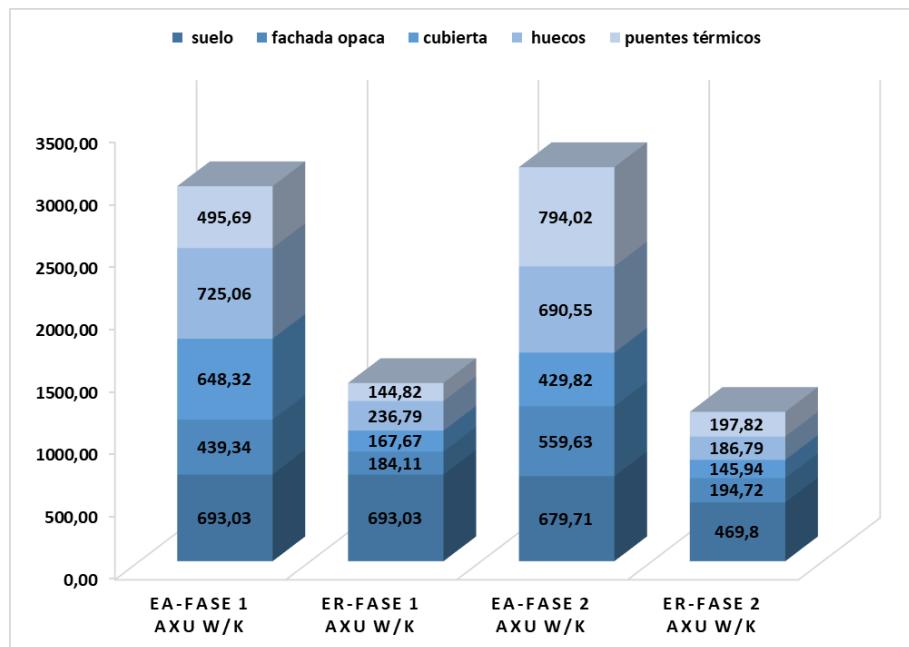


Figura 4.3. Resumen de los resultados de ambos edificios EA estado actual y ER estado rehabilitado en W/K.

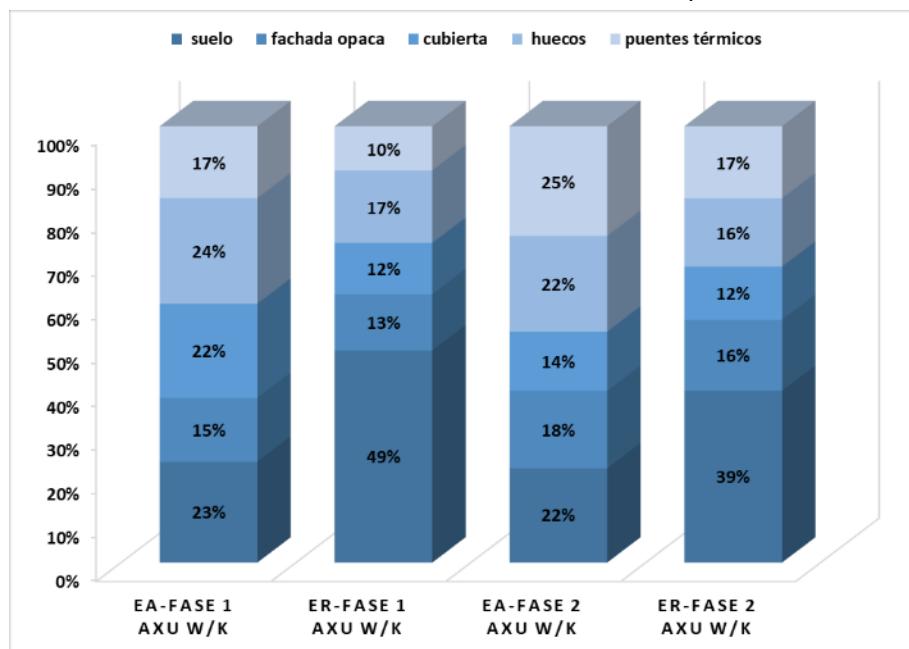


Figura 4.4. Resumen de los resultados de ambos edificios EA estado actual y ER estado rehabilitado en porcentaje.

Al analizar los resultados y comparar los gráficos respecto de los valores de transmitancia de los cinco tipos de cerramiento: suelo, fachada opaca, cubierta, huecos y puentes térmicos, en ambos edificios son similares los resultados. La principal diferencia está en los huecos debido a que en la fase segunda el valor es más elevado y la superficie menor, y en los puentes térmicos, la demanda por estos de la fase segunda es mayor en parte debido al puente térmico observado en el entramado del trasdosado.

Si se analiza la propuesta de rehabilitación, similar en cuanto a valores de transmisión en los edificios de ambas fases, en la primera fase destaca que no se ha intervenido en el suelo, mientras que, en la segunda fase, aunque tampoco se ha realizado ninguna propuesta, el valor de transmitancia es menor porque se han utilizado procedimientos de cálculos diferentes: en EA el de la norma NBE-CT 79 y en ER el del DA DB HE/1. Y que las propuestas de rehabilitación de los puentes térmicos no son tan eficaces en el edificio de la segunda fase como en el de la primera fase principalmente por los puentes térmicos de los cantos de los forjados de planta primera y de cubierta.

Con el método simplificado de cálculo se ha podido comprobar que con las propuestas constructivas de rehabilitación energética realizadas se estaría cumpliendo el CTE en cuanto a prestaciones mínimas de los edificios y se disminuiría la demanda en algo más de un 50%, que es el objetivo que se había fijado.

4.4 Simulaciones con la Herramienta Unificada Lider Calener HULC.

Una vez que se ha comprobado que las propuestas de rehabilitación energética de la envolvente satisfacen las prestaciones para un edificio de nueva planta señaladas en el DB HE 1 para los valores de transmitancia de los diferentes elementos de la envolvente del edificio y del coeficiente global de transmisión de calor, se ha procedido a hacer una simulación con el programa HULC.

Se han introducido los valores de superficies y transmitancias de los diferentes elementos de la envolvente para obtener los gráficos de pérdidas y ganancias en W/m^2 durante todo el año y en una de las semanas más frías de enero, y una de las semanas más cálidas de julio, para comparar EA y ER. Para la simulación se han estimado los valores según lo indicado en el proyecto o se han utilizado los valores de referencia de HULC.

En los gráficos que se incluyen a continuación se puede comprobar que con las soluciones propuestas la demanda de energía para acondicionar disminuye y que las temperaturas son más estables. Las propuestas se han realizado pensando principalmente en la época de invierno ya que Soria está situada en una de las zonas climáticas más frías, sin embargo, se puede comprobar por las temperaturas que también en la época de verano la solución es más confortable.

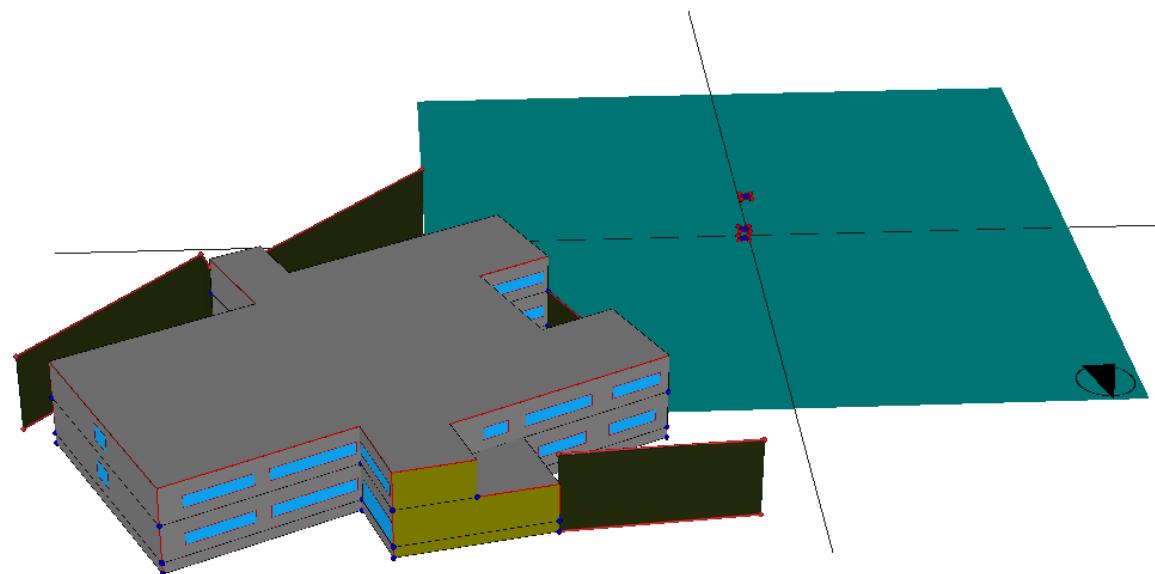
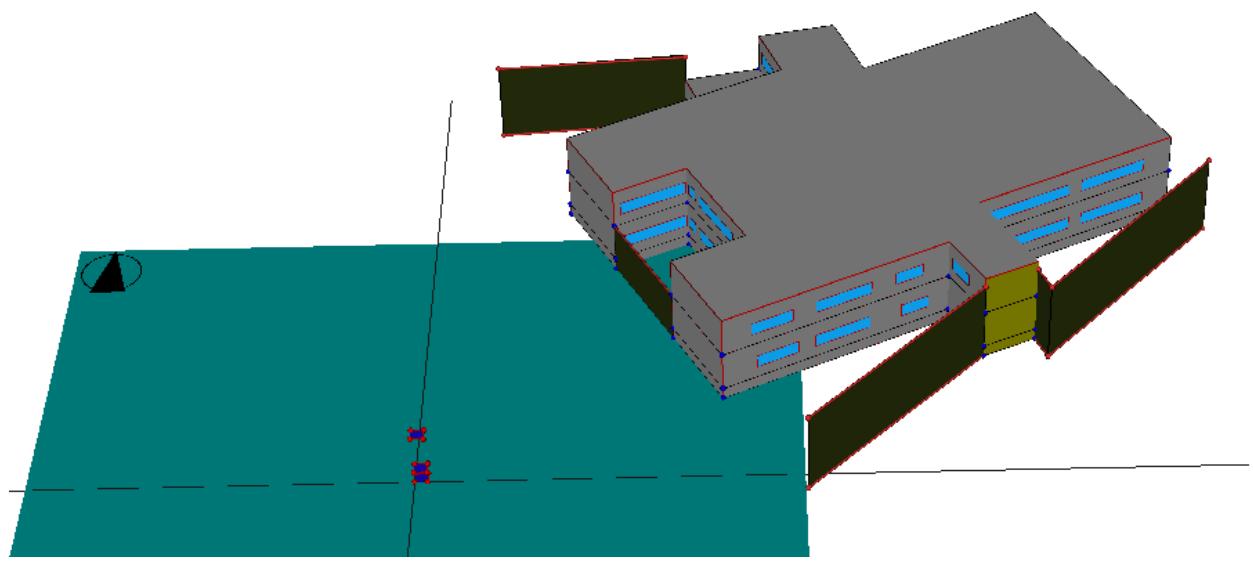


Figura 4.5. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1.

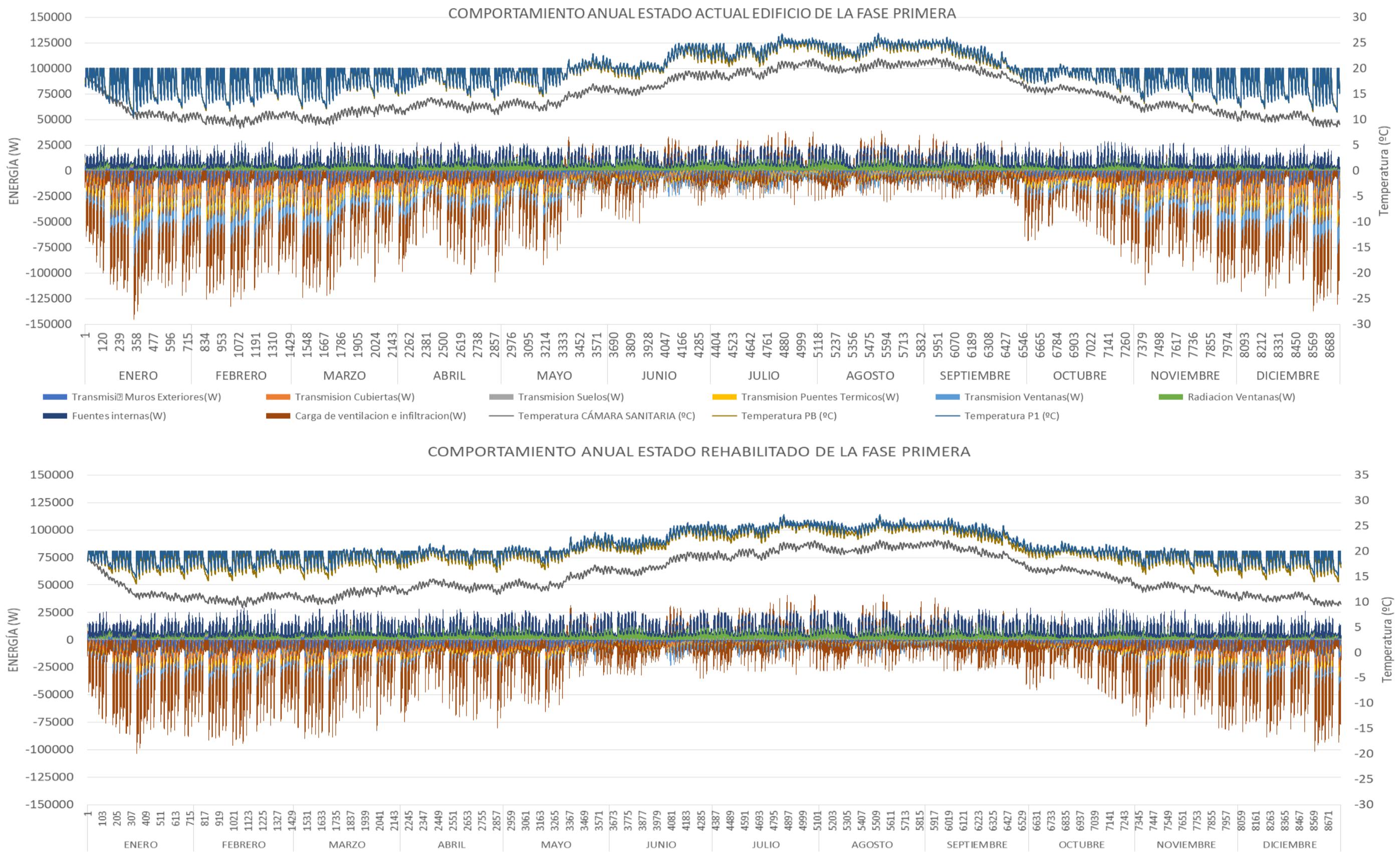


Figura 4.6. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1, temperaturas y transmisión en W.

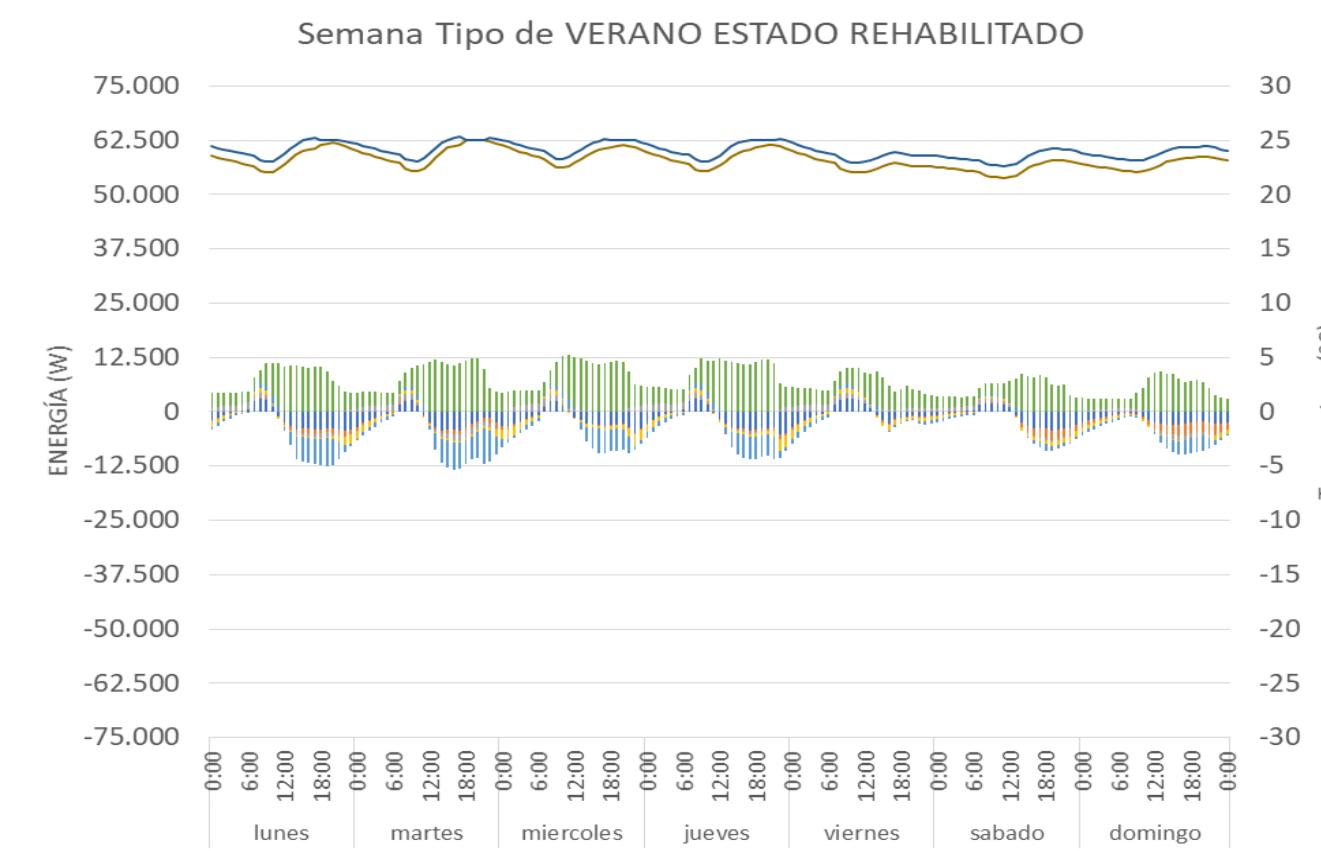
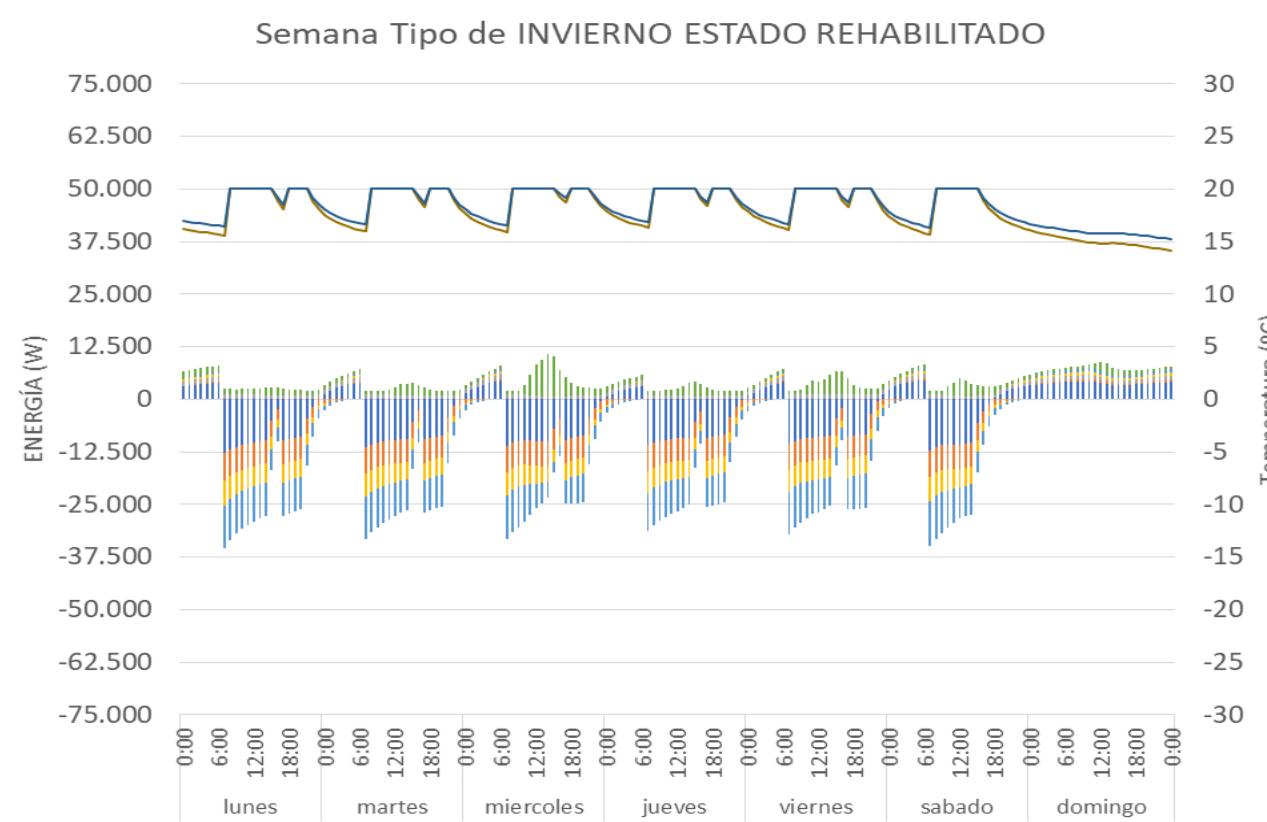
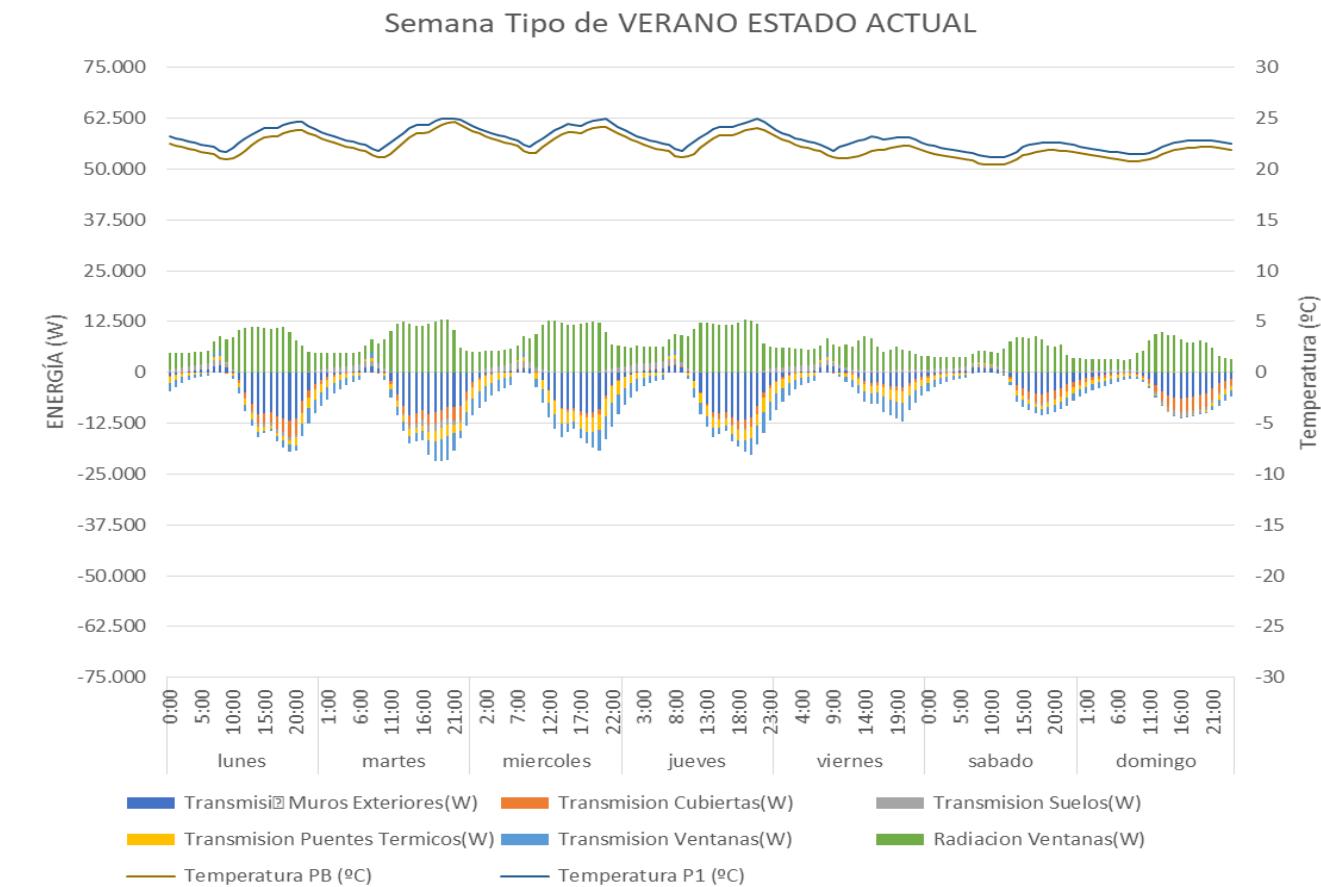
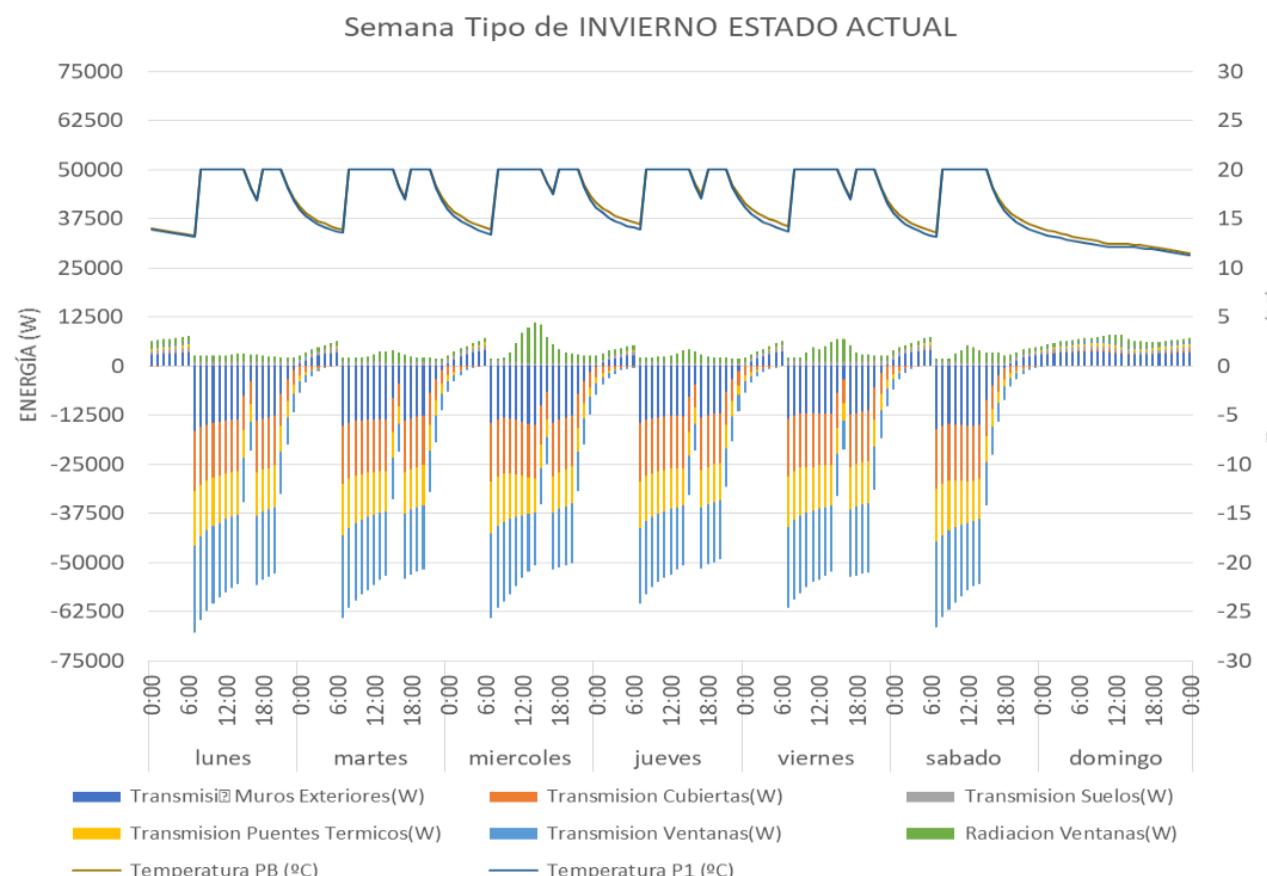


Figura 4.7. Modelado con HULC del edificio 3 de la fase 1, temperaturas y transmisión en W de los cerramientos, EA y ER.

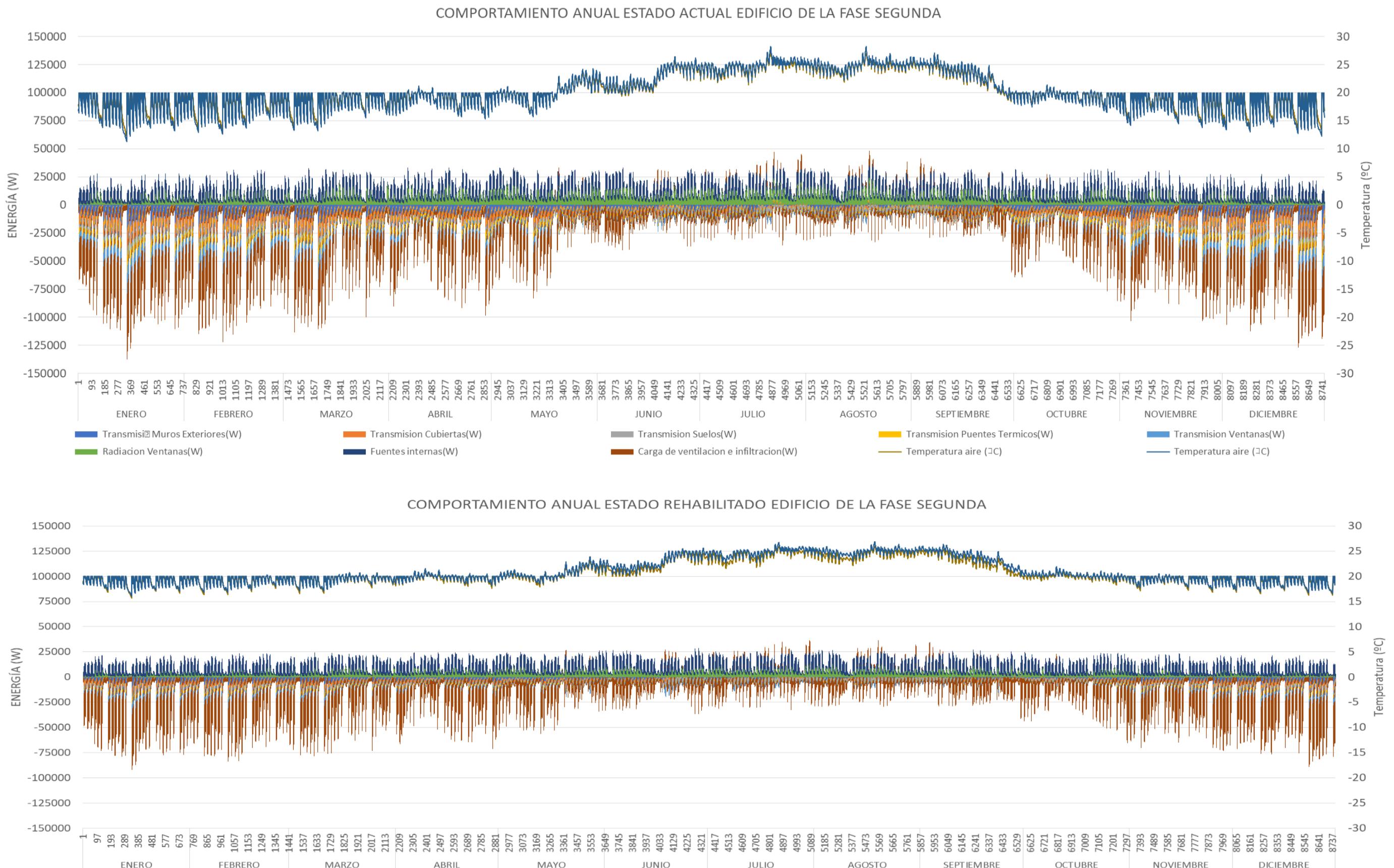


Figura 4.8. Modelado con HULC del edificio 4 de la fase 2, temperaturas y transmisión en W.

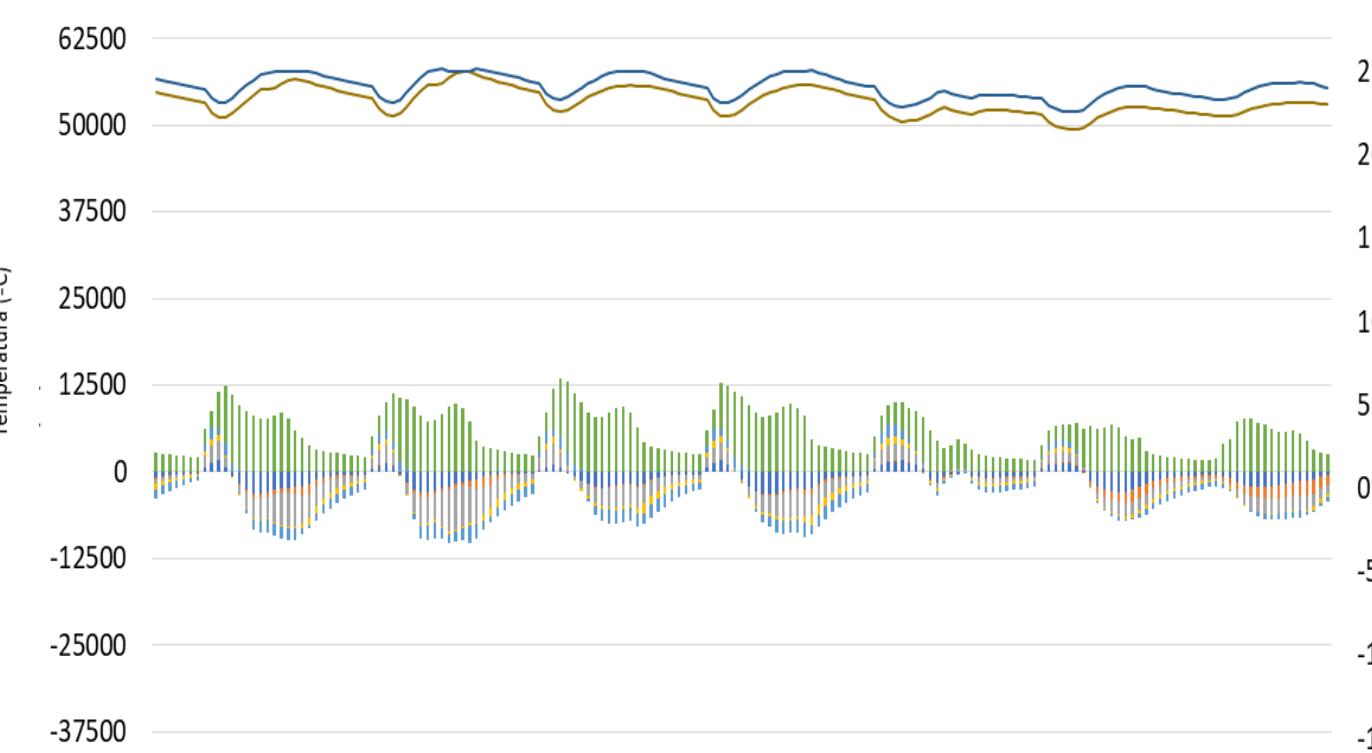
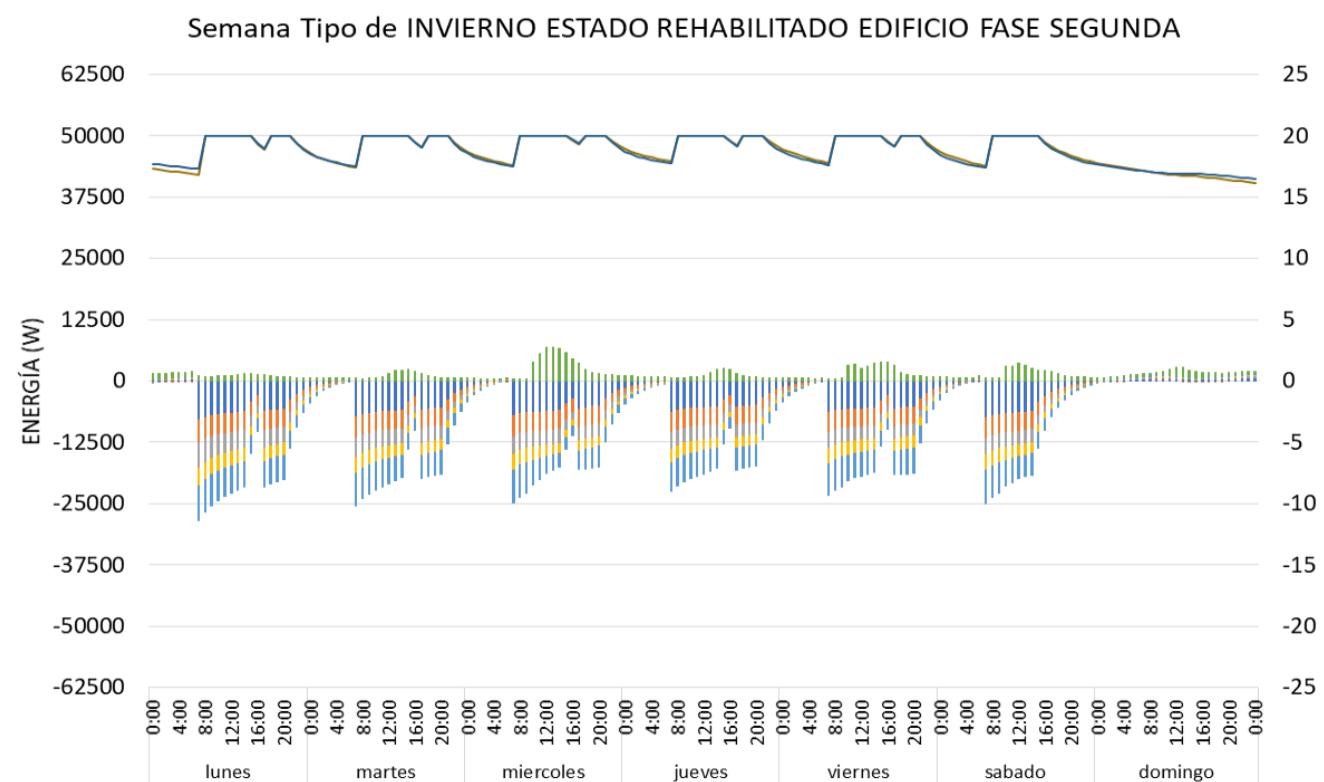
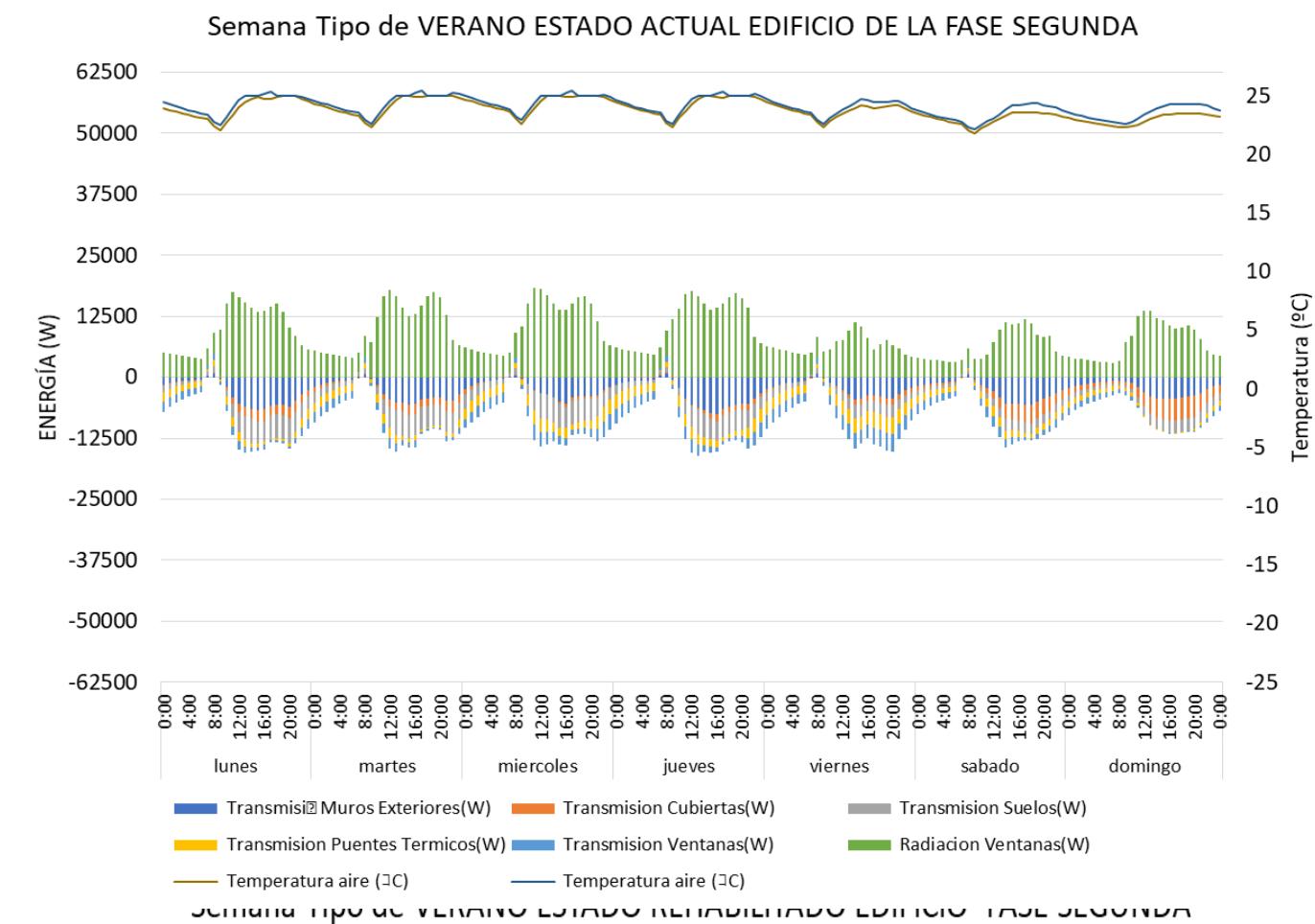
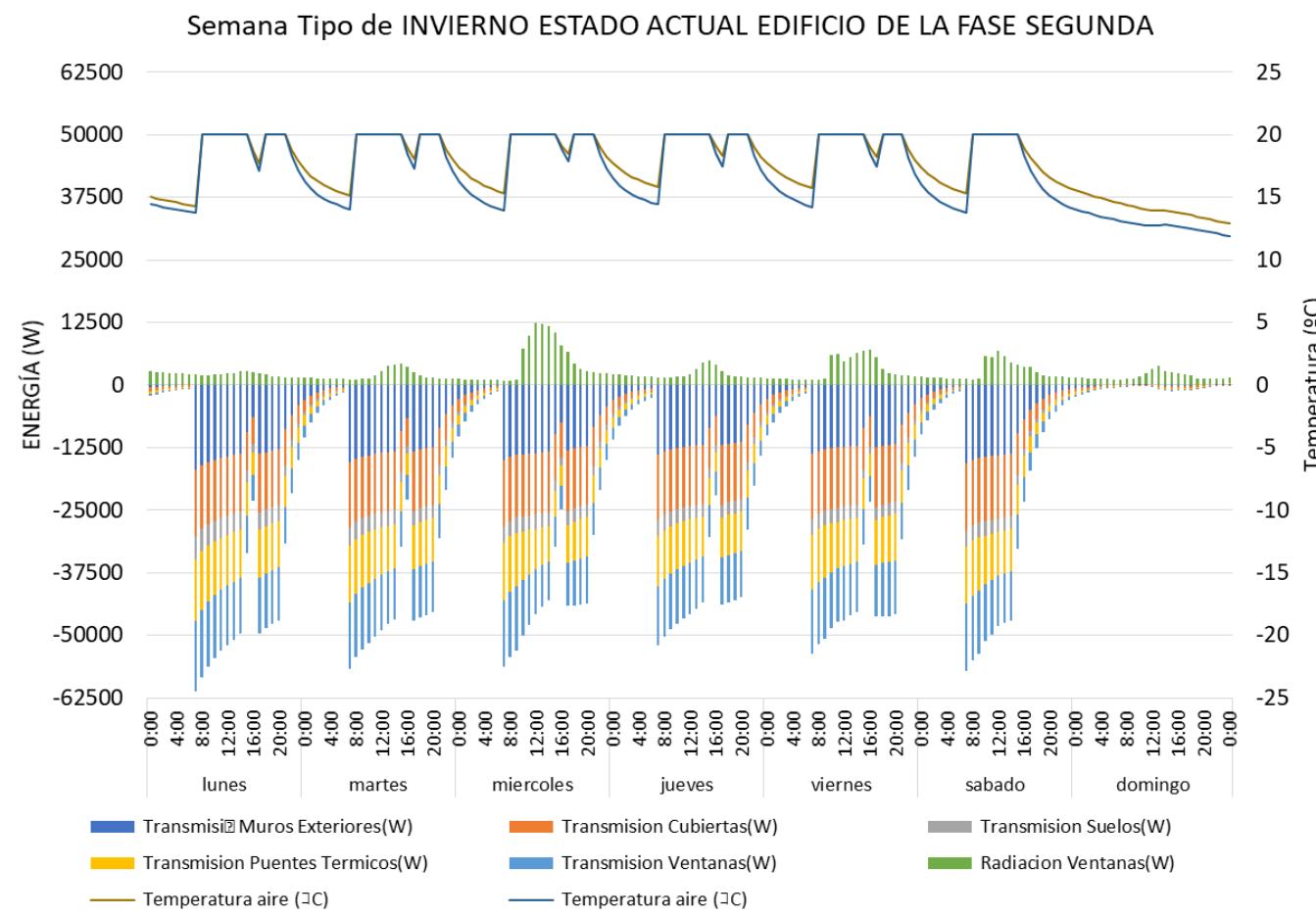


Figura 4.9. Modelado con HULC del edificio 4 de la fase 2, temperaturas y transmisión en W.

5 Conclusiones.

En las propuestas de rehabilitación realizadas se ha buscado conservar la imagen de los edificios y adaptarlos a las prestaciones de la última modificación del CTE, aunque en el caso de rehabilitación de edificios la exigencia varía en función del tipo de intervención. Tras el análisis de los resultados se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- La envolvente de los edificios construidos con la anterior normativa la NBE-CT-79 está muy alejada de cumplir con las prestaciones que se indican en la modificación de 2019 del CTE, incluso en los casos de los edificios estudiados en los que los sistemas construidos verifican con holgura la exigencia de la norma con la que fueron proyectados y, en la mayoría de los elementos, se cumplirían las prestaciones establecidas en la primera versión aprobada del CTE. Lo que supone que en la mayoría de los edificios hay que analizar si desde el punto de vista de la sostenibilidad y la economía es rentable la sustitución completa de los cerramientos de la envolvente.
- Antes de realizar una propuesta de intervención es importante analizar los sistemas constructivos de la envolvente y sus características térmicas ya que para cada sistema es necesario encontrar la propuesta más adecuada, dado lo difícil que es conseguir los niveles de aislamiento actual. Para el análisis es necesario la documentación del proyecto y del final de la obra en especial: documentación gráfica y certificados de las características de los materiales utilizados como sello INCE, sello AENOR, DIT o DITE del sistema, fichas de características de los fabricantes y en los edificios construidos más recientemente el marcado CE, ETE y DEA. Esta información es necesaria para todos los materiales y sistemas que forman la envolvente, y es imprescindible en el caso de los materiales de aislamiento térmico, carpinterías y acristalamiento de huecos.
- En el caso en que la propuesta sea de rehabilitación de los cerramientos, y no de sustitución de estos, se deben realizar ensayos con la cámara termográfica y con placa de flujo según las normas: UNE EN 13178, ISO 6781, ISO 9869-1 e ISO 9869-2, ya que en la construcción de la envolvente se pueden encontrar discontinuidades que no se pueden apreciar a simple vista.
- Como estudio previo del estado actual de la envolvente y de la propuesta de rehabilitación, es simple y práctico evaluar el valor de K_{lim} antes de proceder a realizar simulaciones con HULC u otros programas de simulación, que son opciones más lentas y farragosas, y que para determinados temas son menos precisa por las simplificaciones del modelado del edificio. Para los valores de transmitancia de los cerramientos se puede utilizar el cálculo analítico y validar los resultados con los ensayos y para los puentes térmicos es necesario emplear programas con Therm cuyos datos también se pueden validar con ensayos.
- En fachada, uno de los principales problemas a tener en cuenta al hacer una propuesta de rehabilitación energética son los numerosos puentes térmicos que puede haber: en los encuentros con la estructura, en los huecos y persianas. Solucionar los puentes térmicos debidos a la estructura es más fácil aislando por el exterior, excepto el del forjado del nivel de la planta baja que, en general, se resolverá mejor aislando por el interior pared y suelo. El de cubierta plana con peto que también se resolverá bien, aislando por el interior. En ambos casos hay que considerar si la solución constructiva es posible por altura libre suficiente. Los puentes térmicos de huecos se resuelven bien aislando por el interior hasta el precerco del hueco, aislado, solución utilizada en el proyecto de la segunda fase, aunque sin los niveles de aislamiento exigidos en la actualidad, para lo cual hay que rebajar la fachada en el contorno del hueco. Es importante evitar soluciones de trasdosado en los que la hoja de material aislante no sea continua, o colocar una hoja de material aislante independiente. En el caso de los trasdosados con entramado autoportante hay que evitar el puente térmico del arrostramiento del

entramado al muro de fábrica, bien haciendo que el entramado sea autoportante o colocando piezas de rotura de puente térmico en estas conexiones. La eliminación de la cajonera de la persiana enrollable y la colocación de material aislante supone la eliminación de uno de los puentes térmicos que presentan un valor más elevado de transmitancia térmica.

Para las zonas ciegas de la fachada la solución de aislar por el exterior tiene el inconveniente de alterar la imagen del edificio, por lo que no es posible en los edificios con algún tipo de protección, ni recomendable en otros. Aislar por el interior supone disminuir la superficie útil y el cambio de las instalaciones que vayan adosadas y/o empotradas en la hoja interior de la misma.

- Huecos. La carpintería de los huecos, en general, hay que sustituirla. En los cálculos realizados se ha comprobado que con las carpinterías de aluminio con una ruptura de puente térmico de entre 12 y 20 milímetros, aunque sea posible cambiar el vidrio, es muy difícil conseguir una transmitancia por debajo del valor aconsejado en el anexo E del DB HE 1 de $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Las carpinterías están diseñadas para ventilar los edificios, el cambio de estas supone estudiar la ventilación de los edificios y ejecutar las instalaciones oportunas.
- En cubiertas planas es mejor opción desde el punto de vista térmico la demolición, lo que permite colocar la capa de aislamiento térmico sobre la estructura con una hoja de aislamiento de elevado espesor, de 20 cm. Por presupuesto, se podría levantar la protección de grava y suplementar el aislamiento existente con otra hoja de material aislante, aunque hay que comprobar si se mantendrían los 20 cm de remate de la membrana impermeable en los petos o habría que actuar en todos los petos. En ambos casos, hay que estudiar si es necesario suplementar la altura del peto por razones de seguridad de utilización.
- En suelos, la solución sería levantar el pavimento y colocar una capa de material aislante y volver a ejecutar el pavimento, pero para realizar esta propuesta sería necesario modificar alturas en accesos, escaleras, demoler tabiquería, desmontar puertas y volver a recibirlas, comprobar altura de suelo a alfeizar de ventanas y sería necesario actuar también en las instalaciones. Por lo que en general solo es adecuada para reformas o rehabilitaciones integrales de los edificios
- La localización de Soria en una de las zonas climáticas más frías hace que sea más difícil realizar propuestas que en otras zonas climáticas ya que los niveles de las prestaciones que se fijan, principalmente en invierno, son muy elevadas para lo que ha venido siendo habitual en la construcción de edificios, evidente, es necesario este nivel de prestaciones para conseguir edificios de consumos energético casi nulo, o preferentemente nulo.

6 Anejo A – Puentes térmicos

Relación de las fichas de estudio de cada puente térmico:

FASE 1- estado actual – tabla 3.11

- PTA 11 pilar integrado en fachada
- PTA-12 alfeizar de ventana
- PTA-13 jamba de ventana
- PTA- 14 dintel del hueco, con cajonera de persiana
- PTB-11 frente forjado cubierta
- PTB-12 frente forjado
- PTB-13 frente forjado suelo
- PTC-11 pilar en esquina

FASE 2- estado actual – tabla 3.12

- PTA -21 pilar integrado en fachada
- PTA-22-PB alfeizar de ventana
- PTA-22-P1 alfeizar de ventana
- PTA-23 jamba de ventana
- PTA-24 dintel del hueco
- PTB-21 frente forjado cubierta
- PTB-22 frente forjado
- PTB-23 frente forjado suelo
- PTC-21 pilar en esquina
- PT-2PYL entramado trasdosado

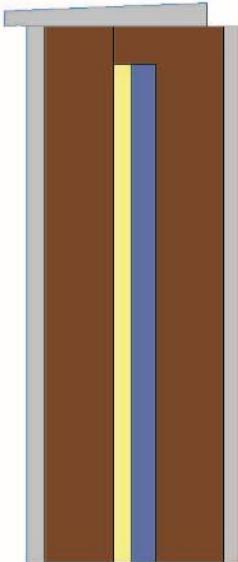
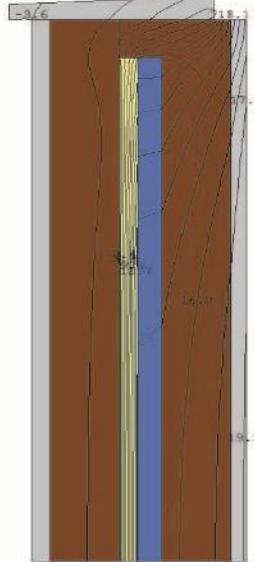
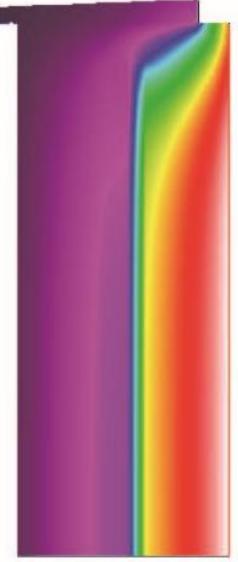
FASE 1- estado reformado – tabla 4.8

- PTA 11R pilar integrado en fachada
- PTA-12R alfeizar de ventana
- PTA-13R jamba de ventana
- PTA- 14R dintel del hueco, con cajonera de persiana
- PTB-11R frente forjado cubierta
- PTB-12R frente forjado
- PTB-13R frente forjado suelo
- PTC-11R pilar en esquina
- PTC-12R encuentro tabique fachada, trasdosado

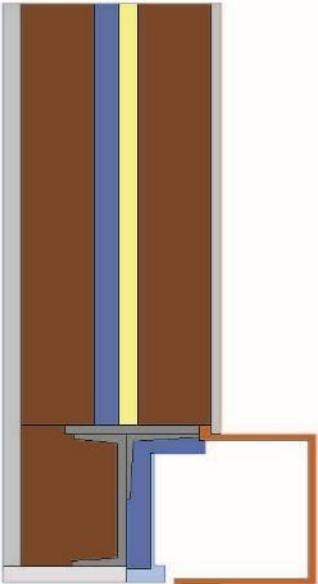
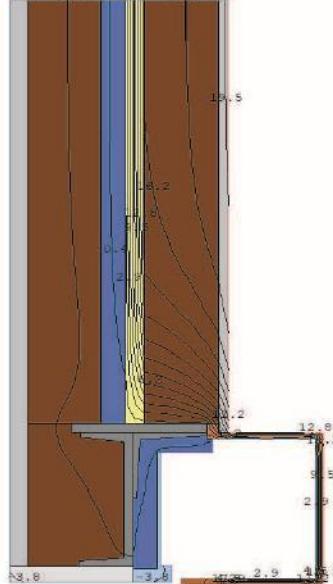
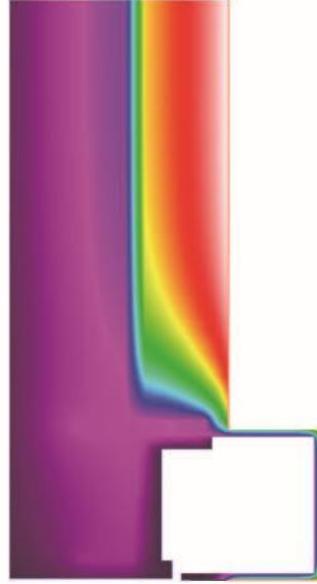
FASE 2- estado actual – tabla 4.9

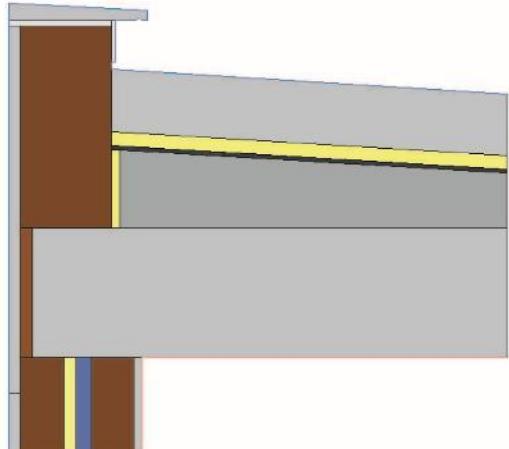
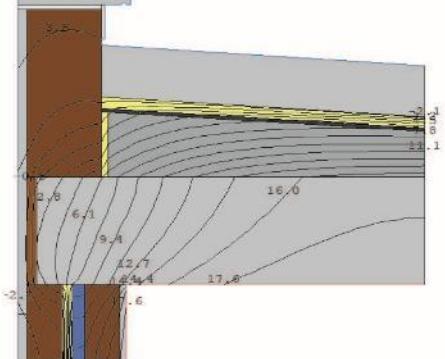
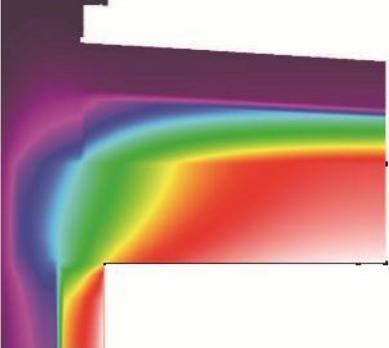
- PTA -21R pilar integrado en fachada
- PTA-22-PBR alfeizar de ventana
- PTA-22-P1R alfeizar de ventana
- PTA-23R jamba de ventana
- PTA-24R dintel del hueco
- PTB-21R frente forjado cubierta
- PTB-22R frente forjado
- PTB-23R frente forjado suelo
- PTC-21R pilar en esquina
- PT-2PYLR entramado trasdosado
-

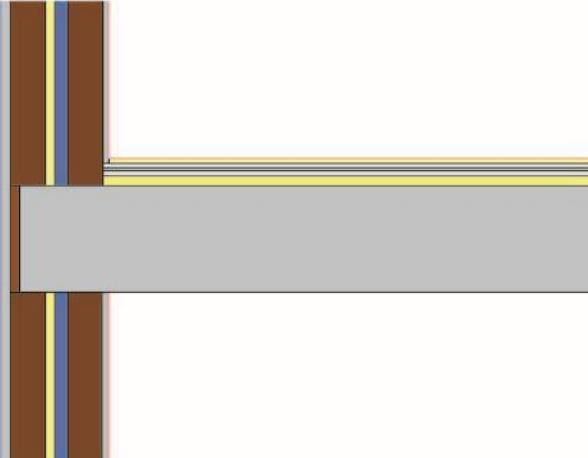
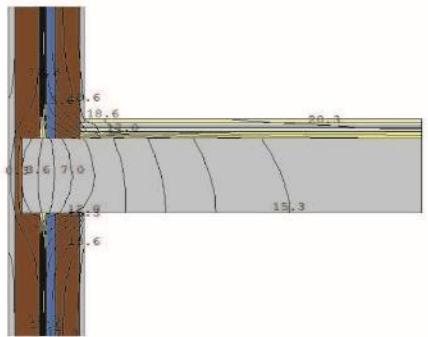
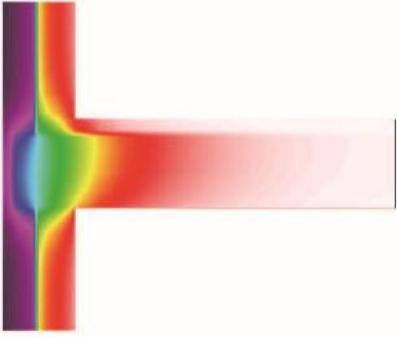
PTA11	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Pilar integrado en el cerramiento	
descripción	Pilar integrado en fachada en el que se interrumpe la continuidad del aislamiento térmico.	
figuras		
	f1: plano	
	f2: isotermas	
	f3: IR	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,53 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	14,7 °C	
categoria del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{tsl}	0,75	
factor de temperatura $f_{tsl,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTA12	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Alféizar de huecos	
descripción	Alféizar sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras	  	
f1: plano	f2: isotermas	B: IR
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_c = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional		interior
transmitancia térmica lineal	0,28 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	13,6 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,70	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

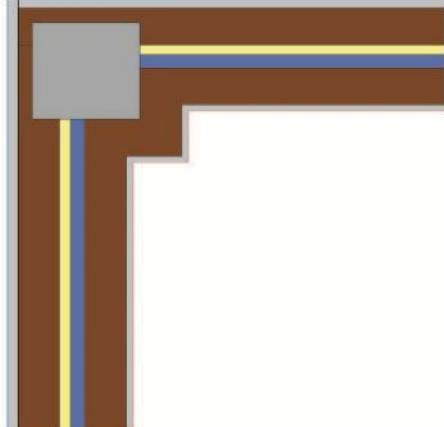
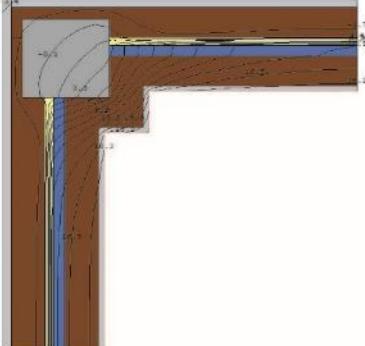
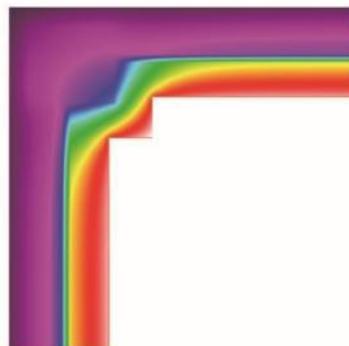
PTA 13	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Jamba de huecos	
descripción	Jamba sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras		
	f1: plano	
	f2: isoterma	
	f3: IR	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	0e=-4°C 0i=21°C ($\Delta\theta=25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,30 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	14,8 °C	
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{tsi}	0,75	
factor de temperatura $f_{tsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

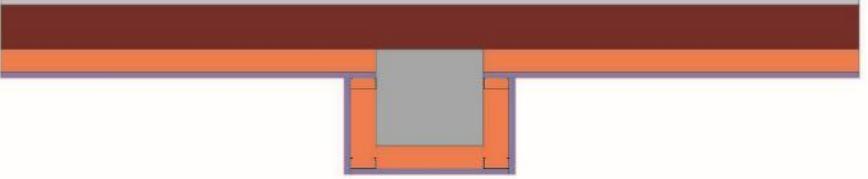
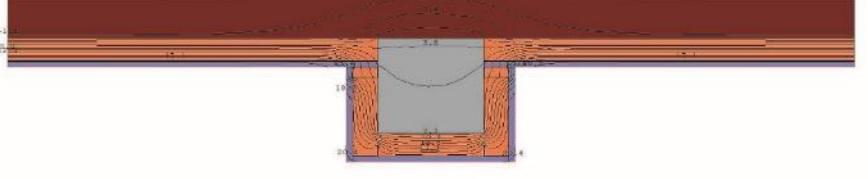
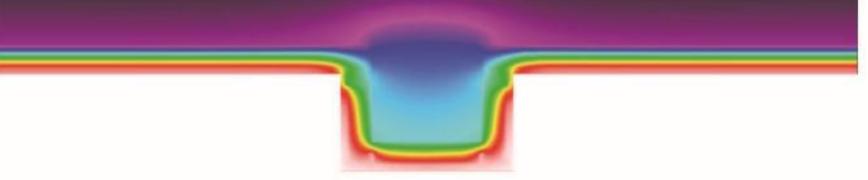
PTA14	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020	
estado	ACTUAL		
denominación	Capialzado y dintel de huecos		
descripción	Dintel metálico sin continuidad entre aislamiento de la fachada y la carpintería. Caja de persiana sin aislamiento en su cara interior.		
figuras	  		
	f1: plano	f2: isotermas	f3: IR
software de simulación	THERM 7.7.10		
zona climática	E1 (h=1055 m)		
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior		
transmitancia térmica lineal	0,90 W/mK		
higrotermia			
temperatura superficial interior mín.	7,7 °C		
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3		
humedad relativa exterior	78%		
humedad relativa interior	55%		
factor de temperatura f_{rsi}	0,47		
factor de temperatura $f_{rsi,min}$	0,64		
condensaciones superficiales/moho	Existe riesgo de condensaciones en la caja de la persiana		

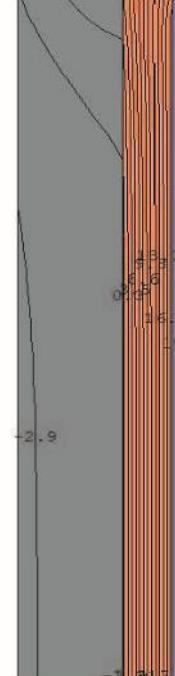
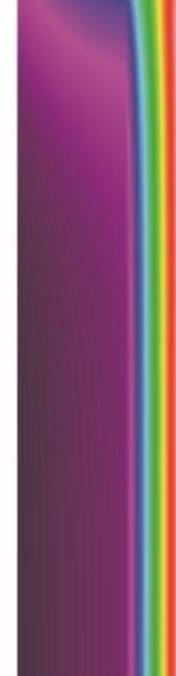
PTB11	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL, Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con cubierta	
descripción	Encuentro de la fachada con el cubierta sin continuidad del aislamiento	
figuras		
	 <p>f1: plano</p>	
	 <p>f2: isoterma</p>	 <p>f3: IR</p>
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$0e=-4^{\circ}\text{C}$ $0i=21^{\circ}\text{C}$ ($\Delta\theta=25^{\circ}\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,69 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	12,2 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{st}	0,65	
factor de temperatura $f_{st,mh}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

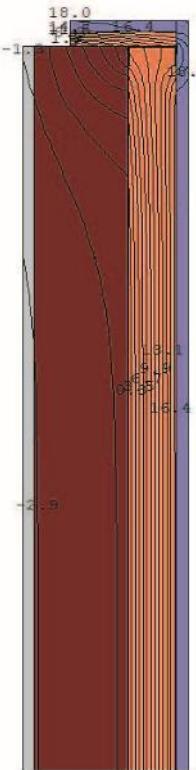
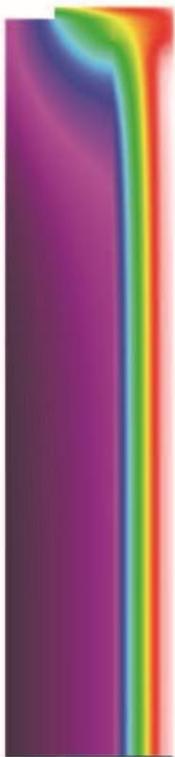
PTB12	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con frente de forjado	
descripción	Encuentro de fachada con forjado de planta sin continuidad del aislamiento de fachada.	
figuras	 <p>f1: plano</p>	
f2: isotermas		f3: IR 
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ $(\Delta\theta = 25^\circ\text{C})$	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,81 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	14,5 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,74	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

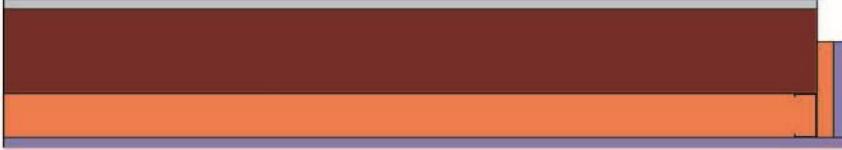
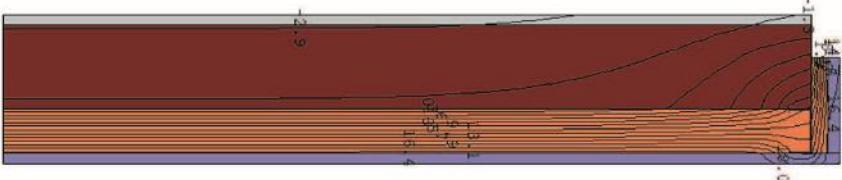
PTB13	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con suelo (forjado sanitario)	
descripción	Encuentro de la fachada con una partición horizontal con espacio inferior no habitable, cámara sanitaria, sin continuidad del aislamiento.	
figuras	<p>f1: plano</p> <p>f2: isotermas</p> <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	0e=-4°C 0i=21°C ($\Delta\theta=25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,25 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	16,3 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Ra}	0,81	
factor de temperatura $f_{Ra,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTC11	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Pilar en esquina	
descripción	Pilar situado en la esquina del cerramiento a 90° sin continuidad del aislamiento de fachada con mayor desarrollo de superficie exterior que interior.	
figuras	 <p>f1: plano</p>	
	 <p>f2: isotermas</p>	
	 <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,55 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	15,2 °C	
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rd}	0,77	
factor de temperatura $f_{Rd,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

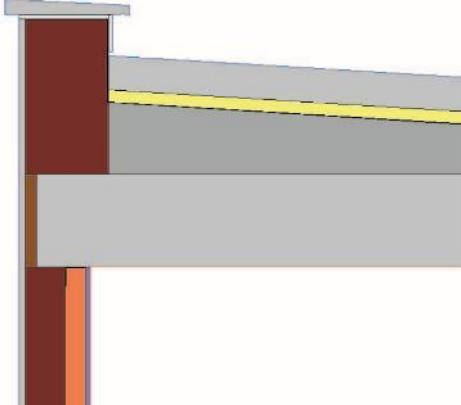
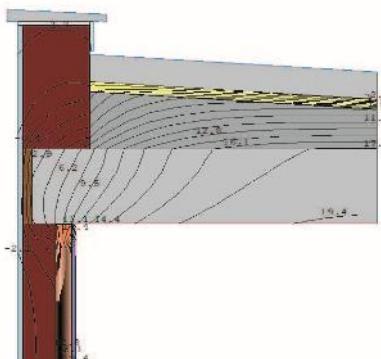
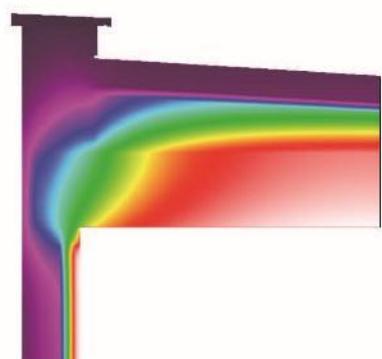
PTA21	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Pilar integrado en el cerramiento	
descripción	Pilar integrado en fachada sin interrupción de la continuidad del aislamiento térmico salvo por la PYL en su ejecución.	
figuras		
	 <p>f1: plano</p>	
	 <p>f2: isotermas</p>	
	 <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$0e=-4^{\circ}\text{C}$ $0i=21^{\circ}\text{C}$ ($\Delta\theta=25^{\circ}\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,31 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	13,4 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,70	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTA22-1	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Alféizar de huecos - PB	
descripción	Alféizar sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras		
		
	f1: plano	f2: isoterma
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,41 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	10,5 °C	
categoria del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,58	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	Existe riesgo de condensaciones.	

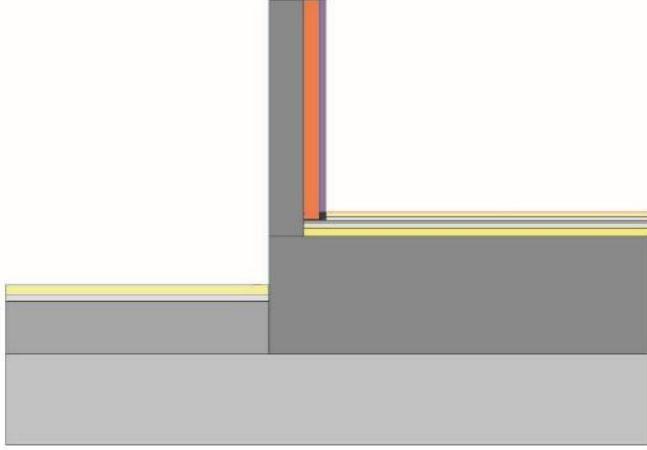
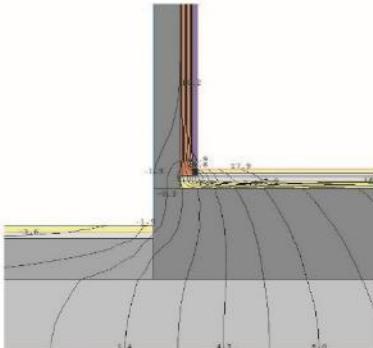
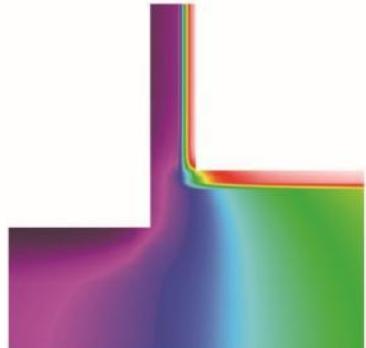
PTA22-1	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Alféizar de huecos - P1	
descripción	Alféizar sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras		
		
	f1: plano	f2: isotermas
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_c = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,31 W/mK	
<i>higrotermia</i>		
temperatura superficial interior min.	11,8 °C	
categoria del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{st}	0,63	
factor de temperatura $f_{st,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	Existe riesgo de condensaciones.	

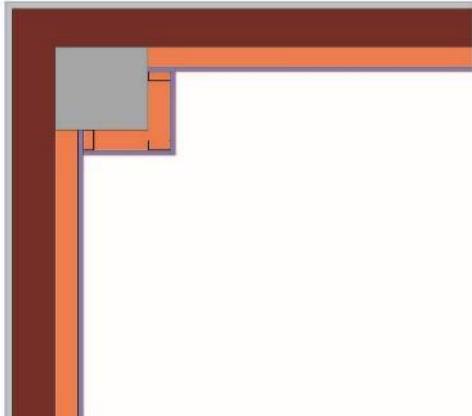
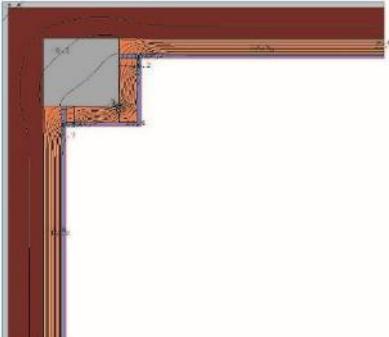
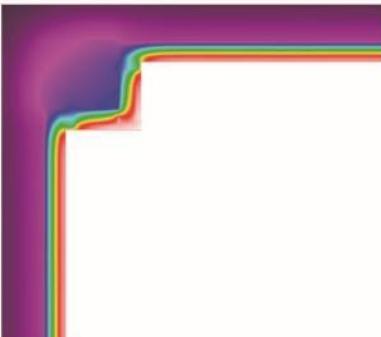
PTA23	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Jamba de huecos	
descripción	Jamba sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isotermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,29 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	11,9 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{RSt}	0,64	
factor de temperatura $f_{RSt,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

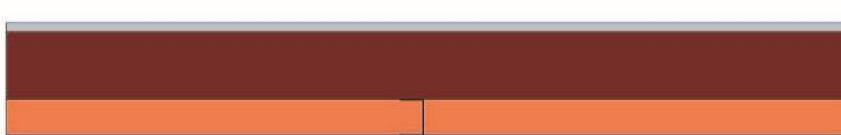
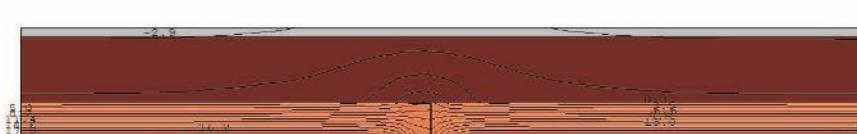
PTA24	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Dintel de huecos	
descripción	Dintel metálico sin continuidad entre aislamiento de la fachada y la carpintería. Sin caja de persina.	
figuras		
	f1: plano	f2: isotermas
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_c = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,40 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior min.	11,8 °C	
categoria del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{st}	0,63	
factor de temperatura $f_{st,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	Existe riesgo de condensaciones.	

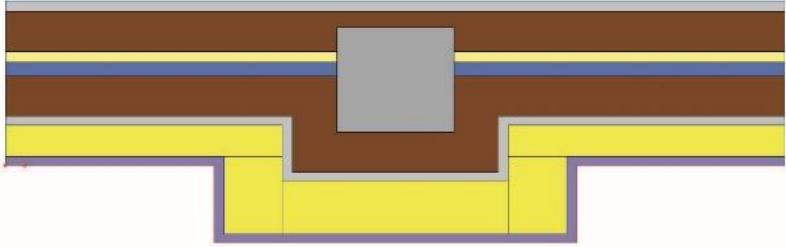
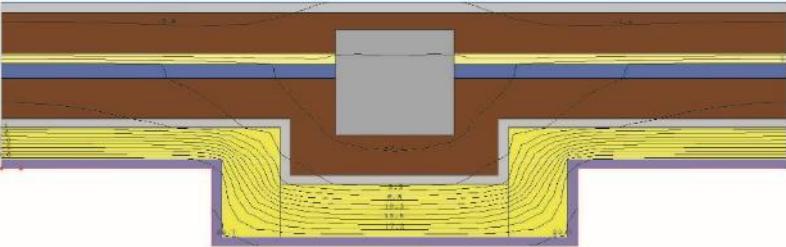
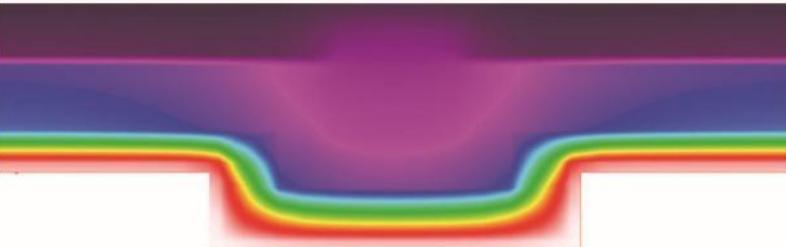
PTB21	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con cubierta	
descripción	Encuentro de la fachada con el cubierta sin continuidad del aislamiento	
figuras	 <p align="center">f1: plano</p>  <p align="center">f2: isotermas</p>  <p align="center">f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional		interior
transmitancia térmica lineal	0,86 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	10,6 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rd}	0,58	
factor de temperatura $f_{Rd,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	Existe riesgo de condensaciones en el encuentro de forjado y fachada.	

PTB22	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con frente de forjado	
descripción	Encuentro de fachada con forjado de planta sin continuidad del aislamiento de fachada.	
figuras	<p>f1: plano</p> <p>f2: isotermas</p> <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	1,40 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	12,6 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,66	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTB23	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Encuentro de fachada con suelo (losa de cimentación)	
descripción	Encuentro de la fachada con suelo en contacto con el terreno, losa de cimentación, sin continuidad del aislamiento.	
figuras	 <p>f1: plano</p>	
 <p>f2: isoterma</p>		 <p>f3: IR</p>
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$0e=-4^{\circ}\text{C}$ $\theta_i=21^{\circ}\text{C}$ ($\Delta\theta=25^{\circ}\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,37 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	13,0 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,68	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

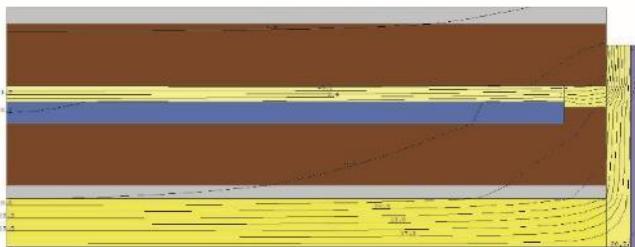
PTC21	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Pilar en esquina	
descripción	Pilar situado en la esquina del cerramiento a 90° con continuidad del aislamiento de fachada con mayor desarrollo de superficie exterior que interior. Se interrumpe el aislamiento con la PYL.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isotermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,38 W/mK	
hidrotermia		
temperatura superficial interior mín.	13,3 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,69	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

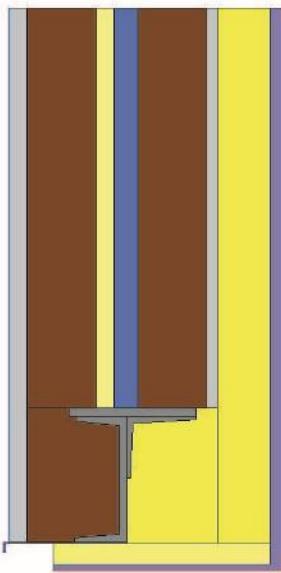
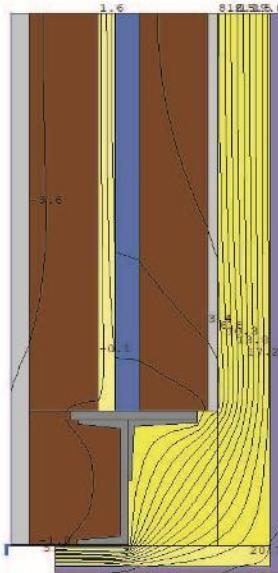
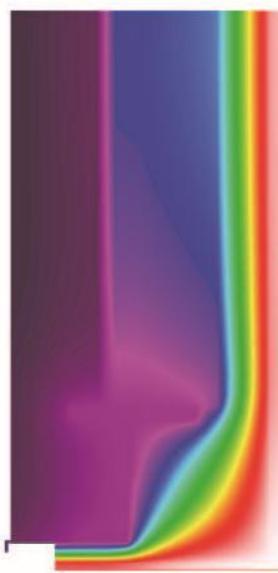
PT - PLADUR	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	ACTUAL	
denominación	Perfil de acero galvanizado	
descripción	Puente térmico que se produce por la continuidad del perfil de acero galvanizado del sistema de trasdosado que conecta la hoja principal con la PYL a través del aislamiento.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isotermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,19 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	13,6 °C	
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Td}	0,70	
factor de temperatura $f_{Td,mm}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

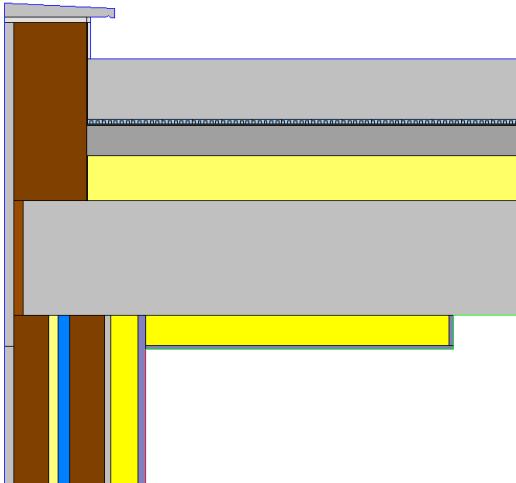
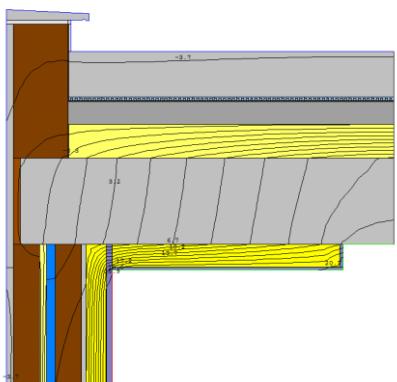
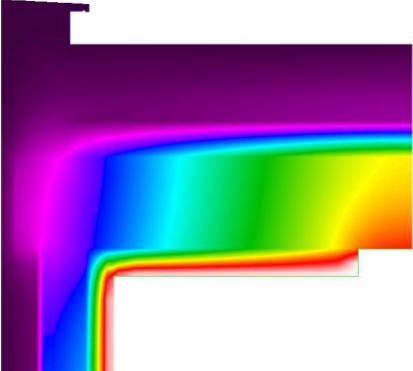
PTA11R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Pilar integrado en el cerramiento	
descripción	Pilar integrado en fachada en el que se interrumpe la continuidad del aislamiento térmico.	
figuras		
	 <p>f1: plano</p>	
	 <p>f2: isoterma</p>	
	 <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	-0,02 W/mK	

<i>higrotermia</i>	
temperatura superficial interior mín.	19,3 °C
categoría del espacio	Clase de Higrometria 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{Rsi}	0,93
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

PTA12R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020	
estado	REFORMADO		
denominación	Alféizar de huecos		
descripción	Alféizar sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería		
figuras			
	 f1: plano	 f2: isoterma	 f3: IR
software de simulación	THERM 7.7.10		
zona climática	E1 (h=1055 m)		
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional		interior	
transmitancia térmica lineal	0,05 W/mK		
higrotermia			
temperatura superficial interior mín.	19,5 °C		
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3		
humedad relativa exterior	78%		
humedad relativa interior	55%		
factor de temperatura f_{RSt}	0,94		
factor de temperatura $f_{RSt,min}$	0,64		
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales		

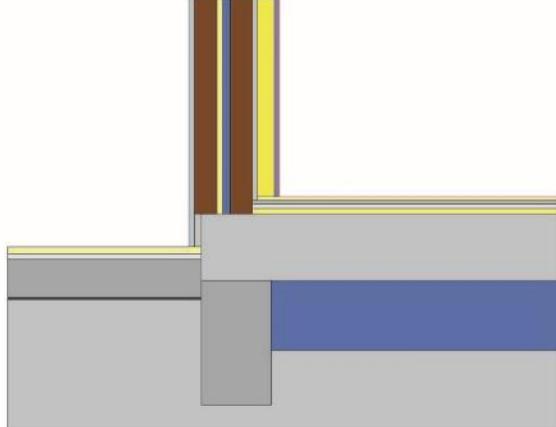
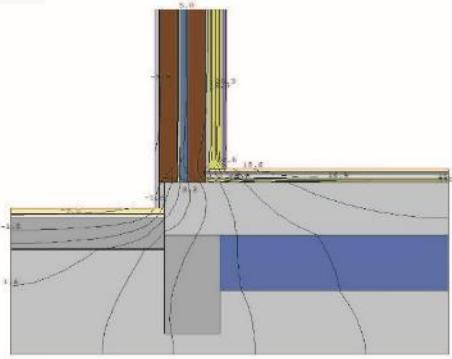
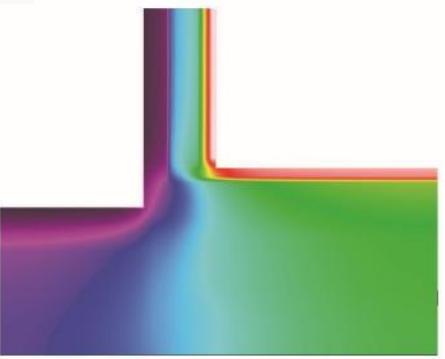
PTA 13R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Jamba de huecos	
descripción	Jamba sin continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isotermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	0e=-4°C 0i=21°C ($\Delta\theta=25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,05 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior min.	19,5 °C	
 categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{tsi}	0,94	
factor de temperatura $f_{tsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

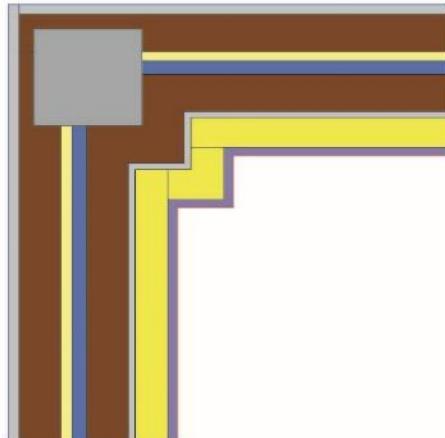
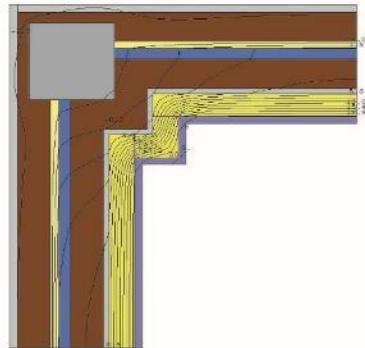
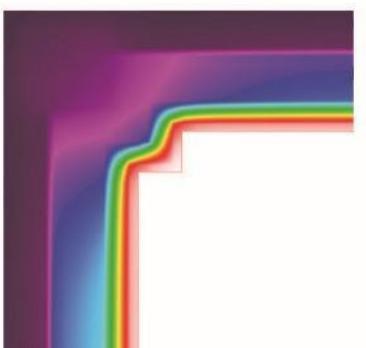
PTA14R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Capilizado y dintel de huecos	
descripción	Dintel metálico sin continuidad entre aislamiento de la fachada y la carpintería. Caja de persiana sin aislamiento en su cara interior.	
figuras	  	
software de simulación	THERM 7.7.10	B: IR
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_c = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional		interior
transmitancia térmica lineal	0,01 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,0 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,88	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

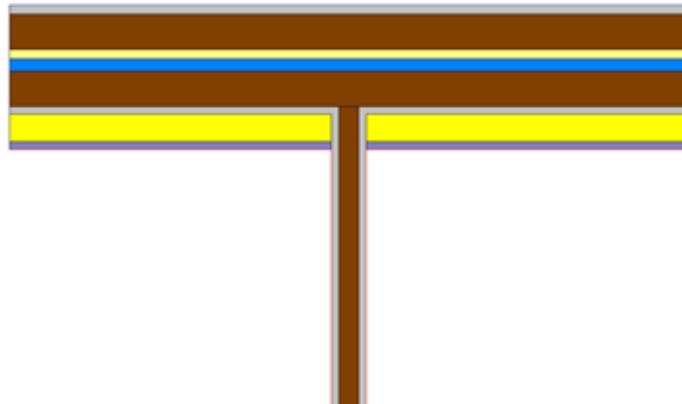
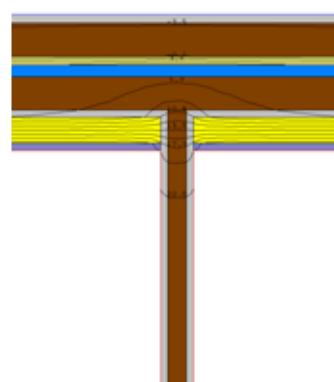
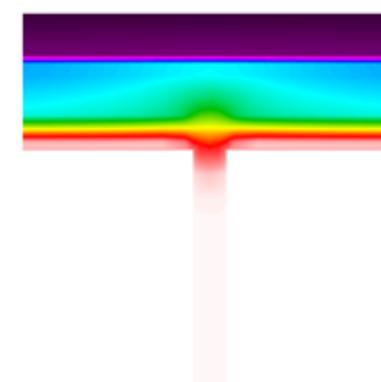
PTB11R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Encuentro de fachada con cubierta	
descripción	Encuentro de la fachada con el cubierta sin continuidad del aislamiento	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isoterma</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ $(\Delta\theta = 25^\circ\text{C})$	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,27 W/mK	

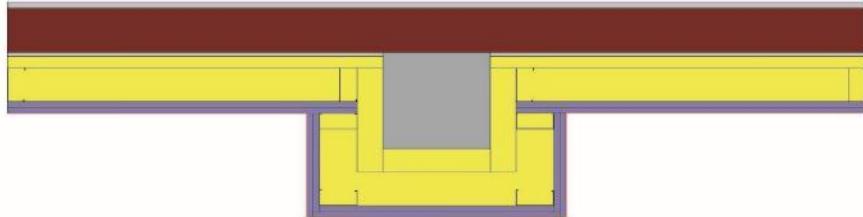
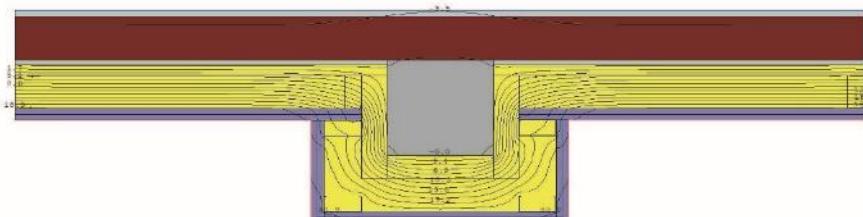
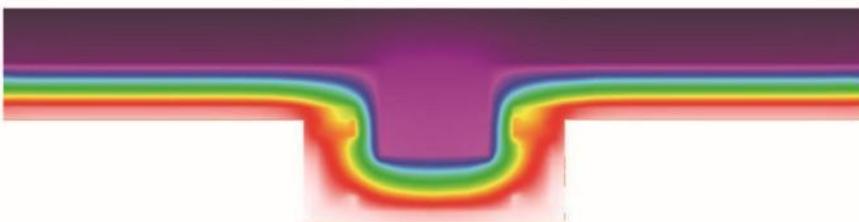
higrotermia	
temperatura superficial interior mín.	17,3 °C
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{rsi}	0,85
factor de temperatura $f_{rsi,min}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

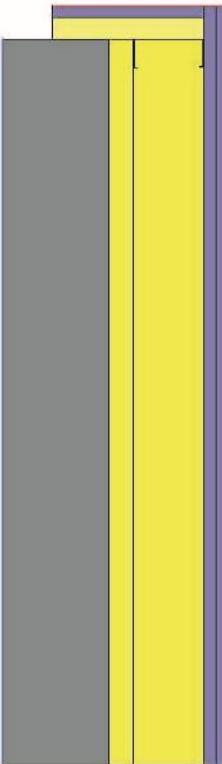
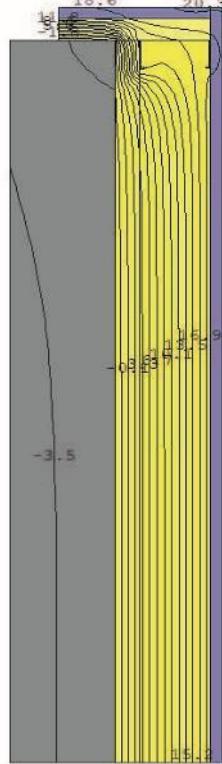
PTB12R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Encuentro de fachada con frente de forjado	
descripción	Encuentro de fachada con forjado de planta sin continuidad del aislamiento de fachada.	
figuras	<p>f1: plano</p> <p>f2: isothermas</p> <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	0e-4°C 0i-21°C ($\Delta\theta=25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,58 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,6 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{st}	0,90	
factor de temperatura $f_{st,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

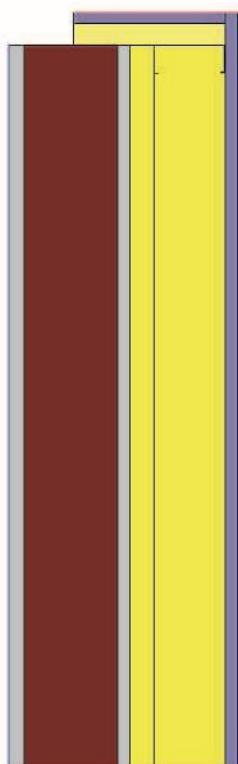
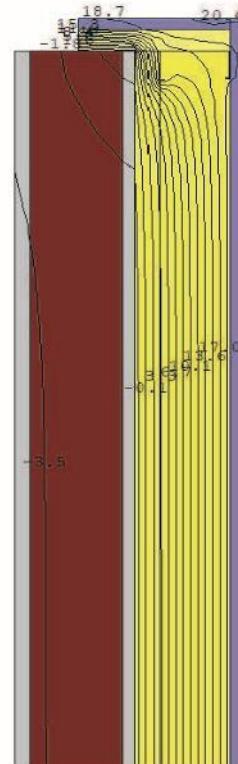
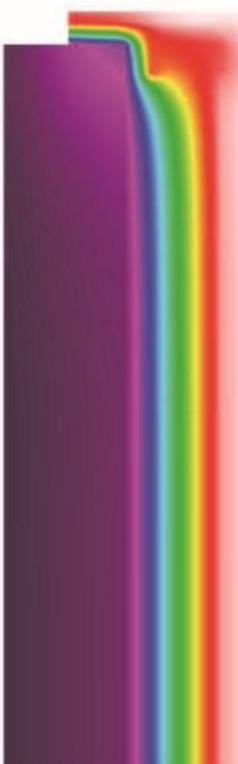
PTB13R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Encuentro de fachada con suelo (forjado sanitario)	
descripción	Encuentro de la fachada con una partición horizontal con espacio inferior no habitable, cámara sanitaria, sin continuidad del aislamiento.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isothermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	-0,83 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	16,2 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{tsi}	0,81	
factor de temperatura $f_{tsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTC11R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Pilar en esquina	
descripción	Pilar situado en la esquina del cerramiento a 90° sin continuidad del aislamiento de fachada con mayor desarrollo de superficie exterior que interior.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isothermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,01 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,4 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,90	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

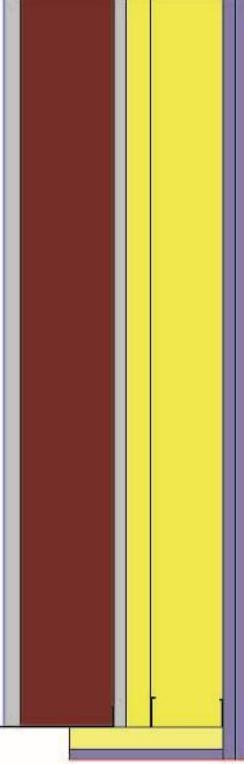
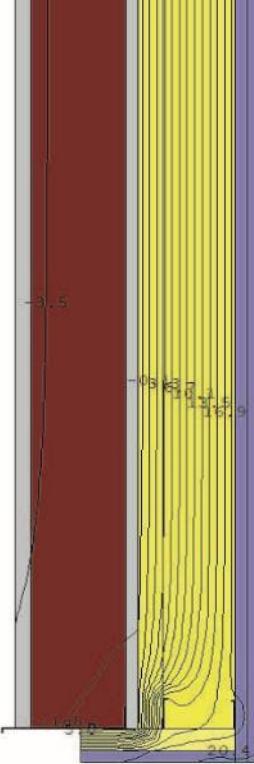
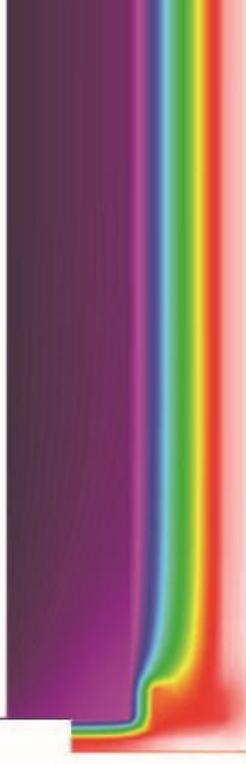
PTC-12	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Distribución interior	
descripción	Puente térmico que se produce en la trabazón entre la hoja interior del cerramiento y la tabiquería al aislar por el interior.	
figuras	<p></p> <p>f1: plano</p> <p></p> <p>f2: isotermas</p> <p></p> <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	EI (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\vartheta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,08 W/mK	
<i>higrotermia</i>		
temperatura superficial interior mín.	18,2 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rei}	0,89	
factor de temperatura $f_{Rei,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTA21R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Pilar integrado en el cerramiento	
descripción	Pilar integrado en fachada sin interrupción de la continuidad del aislamiento térmico.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isotermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_c = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,04 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,1 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rd}	0,88	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

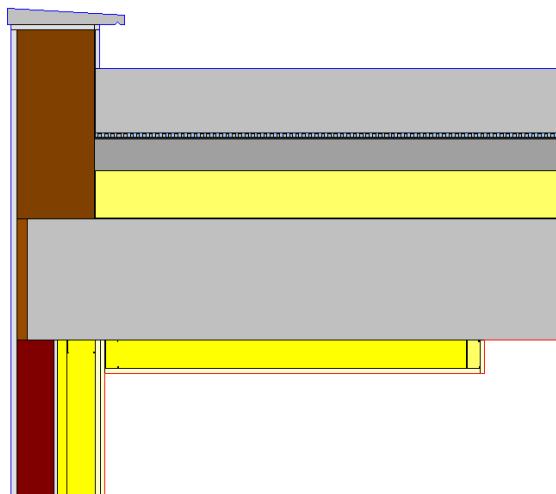
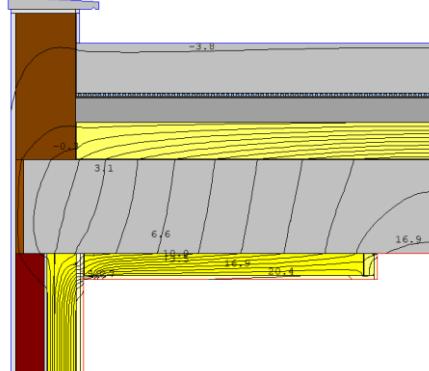
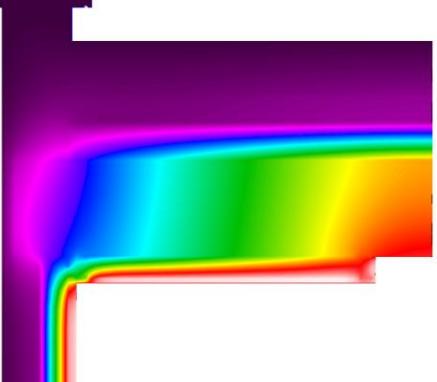
PTA22-1R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020	
estado	REFORMADO		
denominación	Aléízar de huecos - PB		
descripción	Alfíezar con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería		
figuras			
			
	f1: plano	f2: isotemas	f3: IR
software de simulación	THERM 7.7.10		
zona climática	E1 (h=1055 m)		
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)		
sistema dimensional	interior		
transmitancia térmica lineal	0,11 W/mK		
<i>higrotermia</i>			
temperatura superficial interior mín.	18,3 °C		
categoria del espacio	Clase de Higrometría 3		
humedad relativa exterior	78%		
humedad relativa interior	55%		
factor de temperatura f_{hi}	0,89		
factor de temperatura $f_{rel,min}$	0,64		
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales		

PTA22-1R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Alféizar de huecos - P1	
descripción	Alféizar con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras		
		
f1: plano	f2: isotermas	f3: IR
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	0e=-4°C	0i=21°C (Δ0=25°C)
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,09 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,5 °C	
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{tsi}	0,90	
factor de temperatura f_{tsi,min}	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

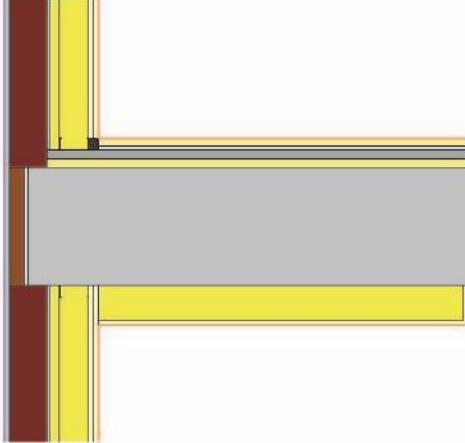
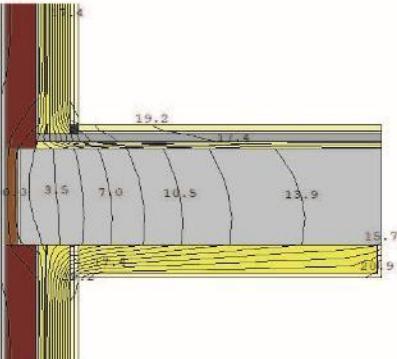
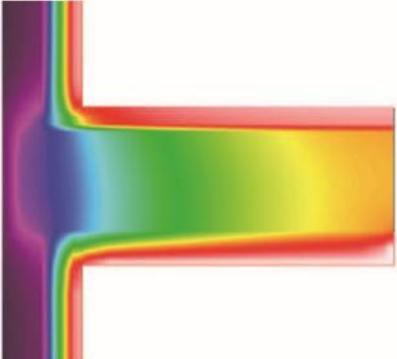
PTA23R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Jamba de huecos	
descripción	Jamba con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería	
figuras		
	f1: plano	
	f2: isotermas	
	f3: IR	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h: 1055 m)	
salto térmico	$0_c = -4^\circ\text{C}$ $0_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,10 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,5 °C	
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rd}	0,90	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

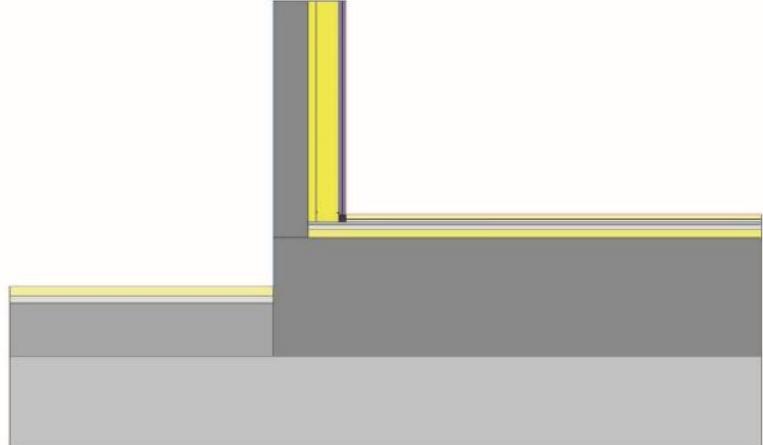
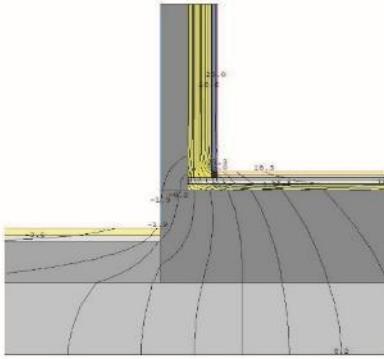
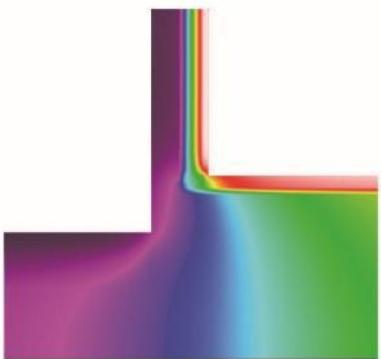
PTA24R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Dintel de huecos	
descripción	Dintel metálico con continuidad entre aislamiento de la fachada y la carpintería. Sin caja de persina.	
figuras	 f1: plano	
	 f2: isotermas	 f3: IR
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,10 W/mK	

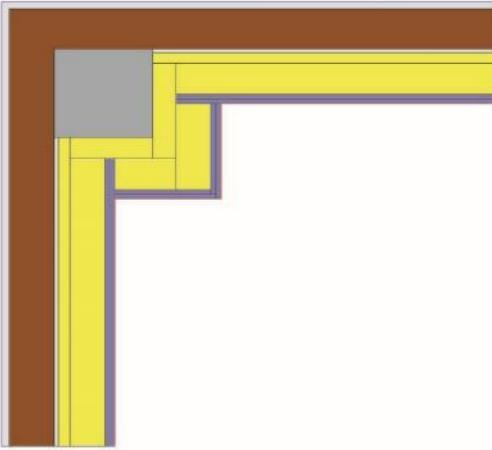
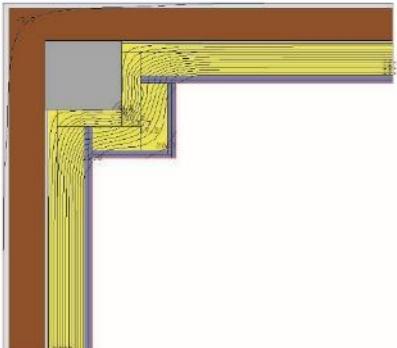
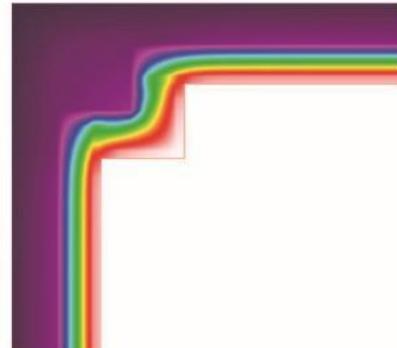
higrotermia	
temperatura superficial interior mín.	18,4 °C
ategoría del espacio	Clase de Higrometría 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{Rd}	0,90
factor de temperatura $f_{Rd,min}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

PTB21R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Encuentro de fachada con cubierta	
descripción	Encuentro de la fachada con el cubierta sin continuidad del aislamiento	
figuras	 <p>f1: plano</p>	
	 <p>f2: isothermas</p>	 <p>f3: IR</p>
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ $(\Delta\theta = 25^\circ\text{C})$	
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,25 W/mK	

higrotermia	
temperatura superficial interior mín.	16,5 °C
 categoría del espacio	Clase de Higrometría 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{rsi}	0,82
factor de temperatura $f_{rsi,min}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

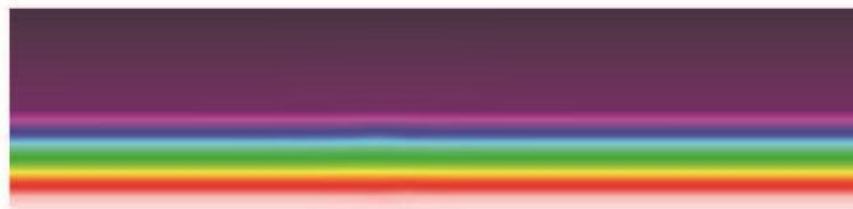
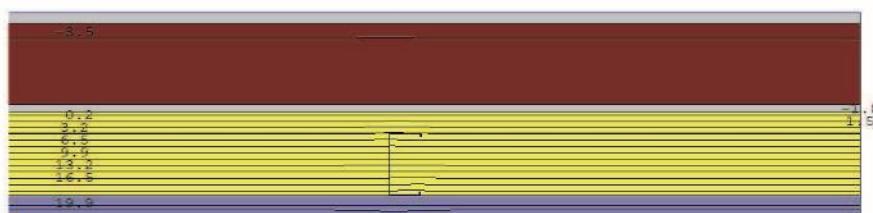
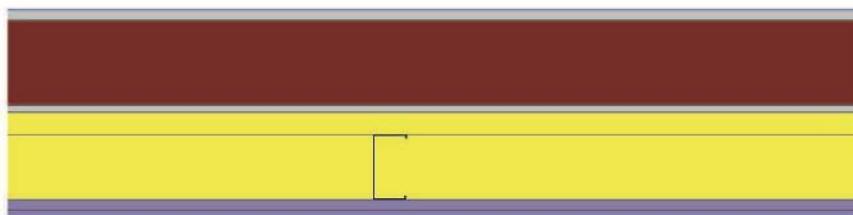
PTB22R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Encuentro de fachada con frente de forjado	
descripción	Encuentro de fachada con forjado de planta sin continuidad del aislamiento de fachada.	
figuras	 <p>f1: plano</p>  <p>f2: isothermas</p>  <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional		interior
transmitancia térmica lineal	0,75 W/mK	
higrotermia		
temperatura superficial interior mín.	18,7 °C	
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3	
humedad relativa exterior	78%	
humedad relativa interior	55%	
factor de temperatura f_{Rsi}	0,91	
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64	
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales	

PTB23R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020	
estado	REFORMADO		
denominación	Encuentro de fachada con suelo (losa de cimentación)		
descripción	Encuentro de la fachada con suelo en contacto con el terreno, losa de cimentación, sin continuidad del aislamiento.		
figuras	 <p>f1: plano</p>		
 <p>f2: isothermas</p>		 <p>f3: IR</p>	
software de simulación	THERM 7.7.10		
zona climática	E1 (h=1055 m)		
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$ $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)		
sistema dimensional	interior		
transmitancia térmica lineal	0,29 W/mK		
higrotermia			
temperatura superficial interior mín.	14,1 °C		
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3		
humedad relativa exterior	78%		
humedad relativa interior	55%		
factor de temperatura f_{Rsi}	0,72		
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64		
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales		

PTC21R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Pilar en esquina	
descripción	Pilar situado en la esquina del cerramiento a 90° con continuidad del aislamiento de fachada con mayor desarrollo de superficie exterior que interior. Se interrumpe el aislamiento con la PYL.	
figuras	 <p align="center">f1: plano</p>	
	 <p align="center">f2: isotermas</p>	 <p align="center">f3: IR</p>
software de simulación	THERM 7.7.10	
zona climática	E1 (h=1055 m)	
salto térmico	$\theta_e = -4^\circ\text{C}$	$\theta_i = 21^\circ\text{C}$ ($\Delta\theta = 25^\circ\text{C}$)
sistema dimensional	interior	
transmitancia térmica lineal	0,02 W/mK	

higrotermia	
temperatura superficial interior mín.	18,5 °C
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{Rsi}	0,90
factor de temperatura $f_{Rsi,min}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

PT - PL-R	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	02/12/2020
estado	REFORMADO	
denominación	Perfil de acero galvanizado	
descripción	Puente térmico que se produce por la continuidad del perfil de acero galvanizado del sistema de trasdosado que conecta la hoja principal con la PYL a través del aislamiento.	
figuras		



software de simulación	THERM 7.7.10
zona climática	E1 (h=1055 m)
salto térmico	$0e=-4^{\circ}\text{C}$ $0i=21^{\circ}\text{C}$ ($\Delta\theta=25^{\circ}\text{C}$)
sistema dimensional	interior
transmitancia térmica lineal	0,00 W/mK

higrotermia	
temperatura superficial interior mín.	20,1 °C
categoría del espacio	Clase de Higrometría 3
humedad relativa exterior	78%
humedad relativa interior	55%
factor de temperatura f_{rel}	0,96
factor de temperatura $f_{\text{rel,mi}}$	0,64
condensaciones superficiales/moho	No existe riesgo de condensaciones superficiales

7 Anejo B – Ensayos

e20IN_01	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		21/01/2021 11:20
	cerramiento fase 2		
descripción fachada	Fachada revocada sobre fábrica de ladrillo perforado no visto de 1/2 asta de espesor, trasdosada con PYL con aislamiento térmico de fibra de vidrio, se corresponde con el tipo de fachada F21		
figuras	f1 planos	f2 fotografías	f3 termografías
descripción ensayo	<p>referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 - part1: Heat flow meter method.</p> <p>El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior.</p> <p>2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior , 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior</p> <p>El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soleamiento directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar guardados del agua de lluvia.Coloar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores.</p>		
observaciones	<p>grafico 1 El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado. El situado a la derecha el cálculo de los valores de conductancia y transmittancia</p>		
grafico 2	Datos obtenidos durante el ensayo: flujo térmico, temperatura ambiente; exterior e interior y temperaturas superficiales, exterior e interior.		

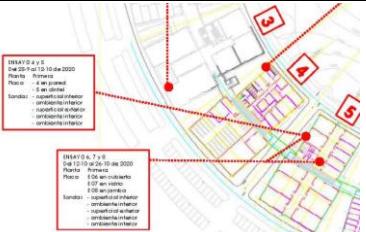
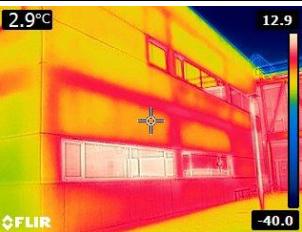
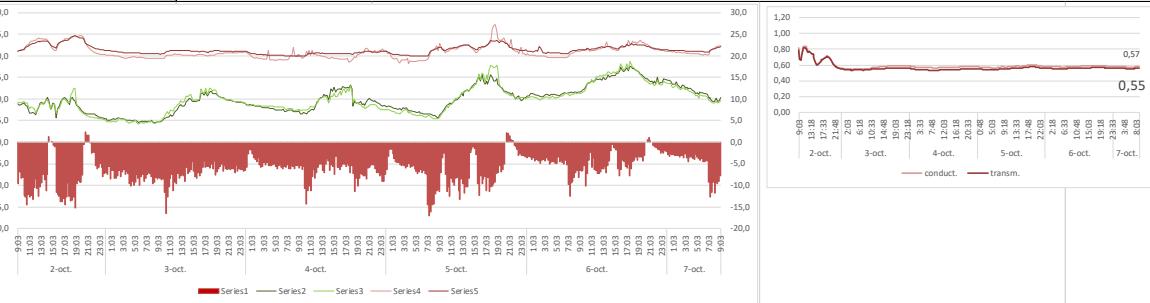
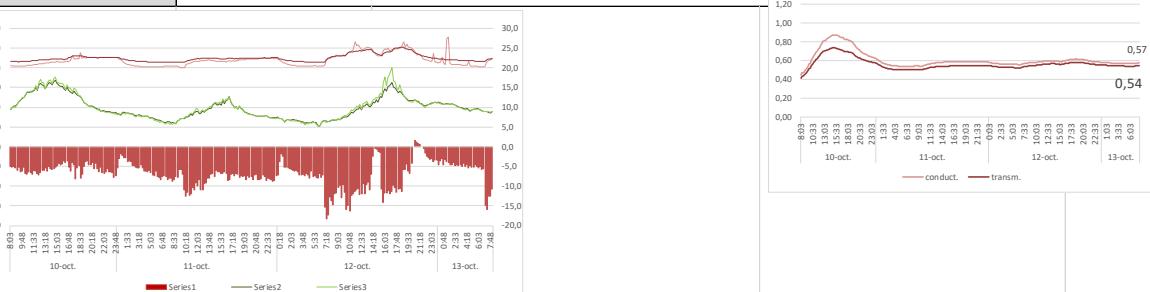
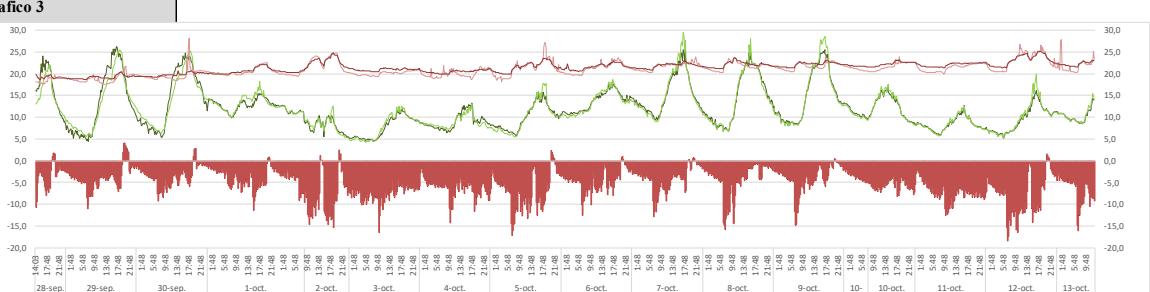
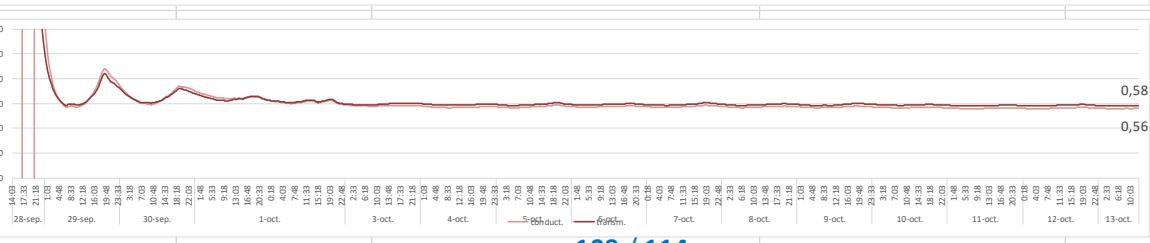
**Rehabilitación de la envolvente de edificios de la UVa para mejorar la eficiencia energética.
Estudio del estado actual y propuestas de intervención en el Campus de Soria**

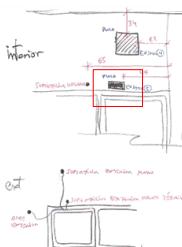
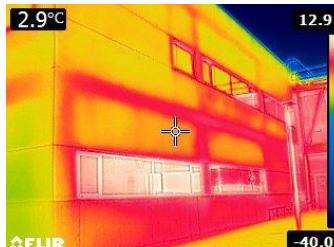
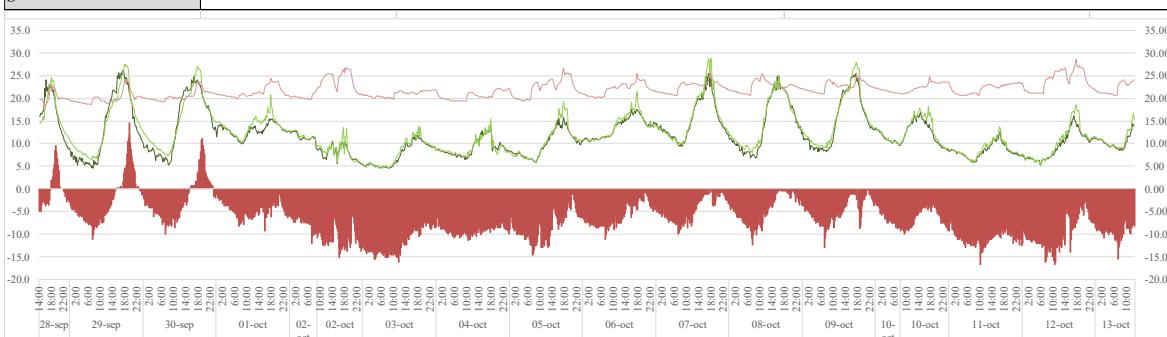
e20IN_02		REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		09/01/2021 18:41
cerramiento fase 1 tipo 2				fecha: de 9 de marzo a 29 de junio de 2020
descripción fachada	Fachada chapada de piedra arenisca sobre fábrica de ladrillo perforado no visto de 1/2 asta de espesor, aislamiento térmico, hoja interior de fábrica guamecida y enlucida.			
figuras	f1 dibujo	f2 fotografías	f3 termografías	
descripción ensayo				
referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.				
El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otra temperatura interior, 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior				
El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soleamiento directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardados del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.				
observaciones				
grafico 1	El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado.			
grafico 2	toma de datos			

e20IN_03	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		27/12/2020 15:56
	cerramiento fase 1 tipo 1		
descripción fachada	Fachada revocada sobre fibra de ladrillo perforado no visto de 1/2 asta de espesor, aislamiento térmico y hoja interior de fábrica, enlucida al interior.		
figuras	f1 planos	f2 fotografías	f3 termografías
descripción ensayo	<p>referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.</p> <p>El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior , 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior</p> <p>El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soleamiento directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardos del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.</p>		
observaciones	datos del 9 de marzo al 5 abril, las sondas estan colocadas hasta el 29 de junio, datos eroños en la temperatura exterior		
grafico 1			
grafico 2			
grafico 3			
	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base de toma de datos modelo ALMEMO ® 2690-8A 5 entradas, cargador y conexión USB - Placa de flujo térmico (HFM) rígida de 250x250mm tipo FQA019C - 4 sensores termopar AMR FTA3902 - cámara termográfica - ordenador portátil con programa 		

Rehabilitación de la envolvente de edificios de la UVa para mejorar la eficiencia energética.

Estudio del estado actual y propuestas de intervención en el Campus de Soria

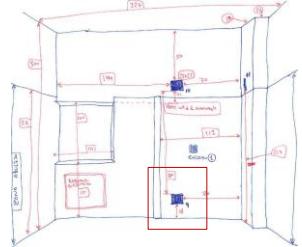
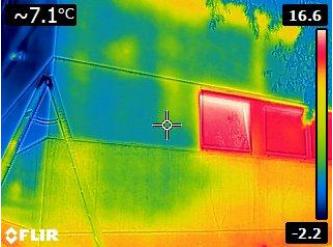
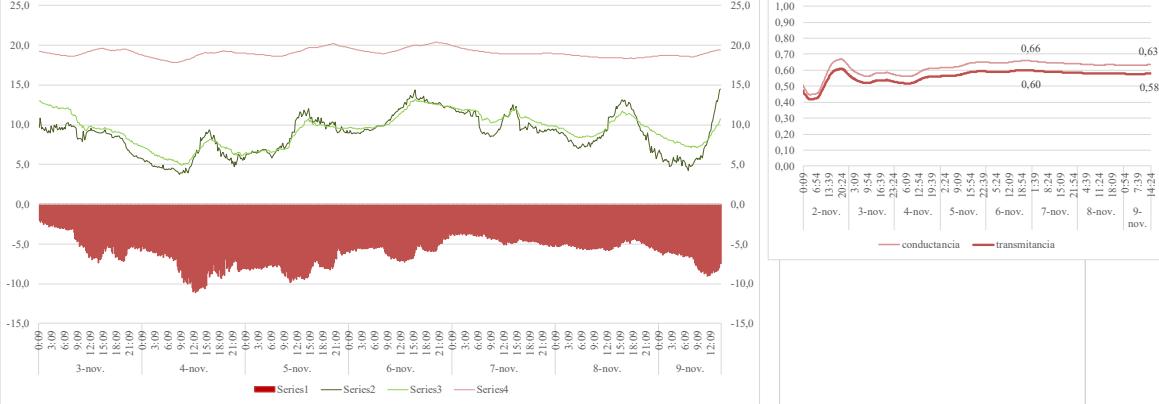
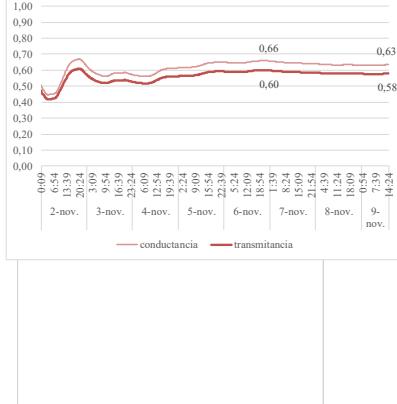
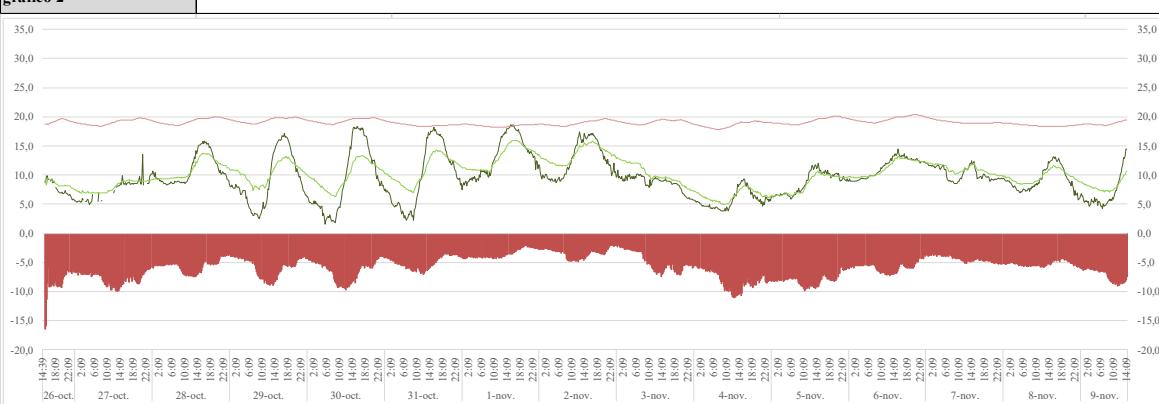
e20IN_04		REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		09/01/2021 18:44
cerramiento fase 2, fachada revocada		fecha de 28 de septiembre a 13 de octubre de 2020		
descripción fachada		Fachada revocada sobre fábrica de ladrillo perforado no visto de 1/2 asta de espesor, trasdosada con PYL con aislamiento térmico de fibra de vidrio, se corresponde con el tipo de fachada F21		
figuras		f1 planos	f2 fotografías	f3 termografías
				
descripción ensayo				
referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.				
El ensayo se realizará colocando la placa HFIM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior, 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior				
El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin solamiento directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardados del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.				
observaciones				
grafico 1		El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha en Watios por metro cuadrado.		INSTRUMENTOS: - Base de torno de datos modelo ALMEMO ® 2690-8A 5 entradas, cargador y conexión USB - Placa de flujo térmico (HFIM) rígida de 250x250mm tipo FQA019C - 4 sensores termopar AMR FTA3902 - cámara termográfica - ordenador portátil con programa
				
grafico 2				
grafico 3				
		109 / 114		

e20IN_05		REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		21/01/2021 11:24
descripción fachada		dintel ventana cerramiento fase 2, puente térmico		fecha de 28 de septiembre a 13 de octubre de 2020
figuras		f1 planos	f2 fotografías	f3 termografías
				FLIR
descripción ensayo		<p>referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.</p> <p>El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior , 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior</p> <p>El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soleamiento directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardos del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.</p>		
observaciones		Te y Ti del ensayo e20in_04 - Ti NO porque presenta valores inferiores a Ti sup		
grafico 1		<p>El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado.</p> 		
grafico 2				
		<p>conductancia</p> 		

**Rehabilitación de la envolvente de edificios de la UVa para mejorar la eficiencia energética.
Estudio del estado actual y propuestas de intervención en el Campus de Soria**

e20in_07		REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	
		28/12/2020 14:19	
ventana, vidrio falso 2			fecha: 13 a 26 de octubre de 2020
descripción fachada	f1 planos	f2 dibujos	f3 termografías
figuras			
descripción ensayo	<p>referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.</p> <p>El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior , 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior</p> <p>El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soporte directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardos del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.</p>		INSTRUMENTOS: - Base de toma de datos modelo ALMEMO ® 2690-8A. 5 entradas, cargador y conexión USB Placa de flujo térmico (HFM) de resina de 120x 120 mm - 4 sensores termopar AMR FTA3902 - cámara termográfica - ordenador portátil con programa
observaciones			
grafico 1	<p>El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior.</p> <p>En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado.</p>		
grafico 2			

e20in_08	REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA		28/12/2020 14:29
	fecha: 13 a 26 de octubre de 2020		
descripción	PILAR y JAMBAS de hueco sin continuidad del aislamiento interior con la carpintería.		
planos y figuras	f1 plano general	f2 detalle constructivo (proyecto)	f3 termografía
fotografía exterior		fotografía interior	fotografía interior
f4 fotografía exterior	f5 fotografía interior	f6 fotografía de detalle	
descripción ensayo			
Norma de referencia: UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.			
Metodología: Método de placa de flujo y Método termométrico (THM, ASTM)			
El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 4 termómetros en el interior para temperatura superficial interior vinculados a dispositivo Testo 176-T4 a una distancia de 15 mm en la misma horizontal (gradiante de temperatura) 2 termómetros, en el interior y en el exterior, para temperatura superficial interior y exterior vinculados al dispositivo ALMEMO 1 termómetro triple en el interior para la temperatura superficial vinculado al dispositivo Testo 435-2 1 sonda de radio de temperatura y humedad relativa vinculado al dispositivo Testo 435-2			
El dispositivo Testo 432-5 dispone de un dispositivo integrado de medición de temperatura y humedad relativa que se situará a 50 cm de la fachada.			
observaciones	Se ha eliminado el aislamiento interior entre la hoja cerámica y el pilar y que la termografía exterior muestra de tal forma la situación del pilar que evidencia la falta de éste.		
grafico 1	El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior, superficial interior (varias sondas) y superficial exterior. Período completo del ensayo. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado.		
grafico 2	El gráfico representa los resultados del ensayo de TRANSMITANCIA Y CONDUCTANCIA. Período completo del ensayo. En el eje de abcisas, el tiempo, y en el eje de ordenadas izquierda. Watios por metro cuadrado por grado de temperatura Kelvin. Los datos de conductancia se obtienen directamente de los resultados del ensayo por MÉTODO DE PLACA DE FLUJO, mientras que la transmittancia se obtiene aplicando las Rse y Rsi definidos en la norma.		

e20IN_09		REHABILITACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE LA UVa PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN EN EL CAMPUS DE SORIA	
		09/01/2021 18:45	
zócalo cerramiento fase 2		fecha: de 26 de octubre a 9 de noviembre de 2020	
descripción fachada		Fachada formada por zócalo de hormigón visto trasdosado con entrama de PYL con aislamiento entre el entramado	
figuras	f1 planos	f2 fotografías	f3 termografías
			
descripción ensayo			
referencia UNE ISO 9869-1 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance 2014 part1: Heat flow meter method.			
El ensayo se realizará colocando la placa HFM en el paramento interior, fijando su contorno con cinta, las salidas de cable en la zona inferior. 2 termopares en el interior: uno para temperatura superficial y otro temperatura interior , 2 termopares en el exterior: uno para temperatura superficial y otro para temperatura exterior			
El ensayo se debe realizar en una fachada norte o sin soporte directo. No se deben situar en zonas de puentes térmicos, ni cerca de fuentes de calor ni de frío. Al exterior se deben colocar resguardos del agua de lluvia. Colocar al lado de una ventana para poder sacar los termopares exteriores. Se dibujarán los alzados y secciones acotadas respecto de la ventana y la situación de la ventana en la fachada.			
observaciones			
grafico 1	El gráfico representa los resultados del ensayo de FLUJO DE CALOR "in situ" y las ondas de temperaturas: interior y exterior y superficial interior y exterior. En el eje de abcisas el tiempo, en el eje de ordenadas izquierda, la temperatura en °C y en el eje de ordenadas derecha el flujo en Watios por metro cuadrado.		
			
grafico 2			
INSTRUMENTOS:			
- Base de toma de datos modelo ALMEMO ® 2690-8A 5 entradas, cargador y conexión USB - Placa de flujo térmico (HFM) rígida de 250x250 mm tipo FQA019C - 4 sensores termopar AMR FTA3902 - cámara termográfica - ordenador portátil			

8 Referencias

¹ Documento Básico HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación.

² Ley de 12 de junio de 1911, sobre casas baratas, publicada el 13 de junio de 1911. Real decreto de 25 de febrero de 1921 autorizando al Ministro de este Departamento para presentar a las Cortes un proyecto de ley sobre casas baratas, publicado el 27 de febrero de 1921. Real decreto de 11 de abril de 1912 por el que se aprueba el Reglamento provisional para la aplicación de la ley de 12 de junio de 1911, sobre casas baratas, publicado el 15 de abril de 1912. Real decreto de 14 de mayo de 1921 por el que se aprueba el “Reglamento reformando el vigente, para la aplicación de la Ley de 12 de junio de 1911, sobre casas baratas”, publicado el 24 de mayo de 1921. Real Decreto de 8 de julio de 1922 por el que se prueba el Reglamento provisional para la aplicación de la Ley de casas baratas de 10 de diciembre de 1921, publicado el 28 de julio de 1922.

³ Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de “viviendas de renta limitada”, publicada el 16 de julio 1954. Orden de 12 de julio de 1955 por la que se aprueba el texto de las Ordenanzas técnicas y normas constructivas para “viviendas de renta limitada”, publicada el 16 de julio de 1955.

⁴ Pliego de Condiciones Técnicas. Dirección General de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Madrid, 1960 ISBN 84-500-6256-X.

⁵ Norma ISO 9869-1 Thermal insulation – Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: heat flow meter method.

⁶ Cabeza-Prieto, A., Camino-Olea, M. S (AC), Rodríguez-Esteban, M. A., Llorente-Álvarez, A., & Pérez, M. P. S. (2020). Moisture Influence on the Thermal Operation of the Late 19th Century Brick Facade, in a Historic Building in the City of Zamora. *Energies*, 13(6), 1307 (2/5) <http://dx.doi.org/10.3390/en13061307>

⁷ Norma UNE-EN ISO 6946 Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo.

⁸ Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB HE/3 puentes térmicos.

⁹ Norma UNE EN 13178 Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos.

¹⁰ Norma ISO 6781 Thermal insulation - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method.

¹¹ Norma ISO 9869- 2 Thermal insulation – Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 2: Infrared method for frame structure dwelling.

¹² <https://windows.lbl.gov/software/therm> (24/08/2020).