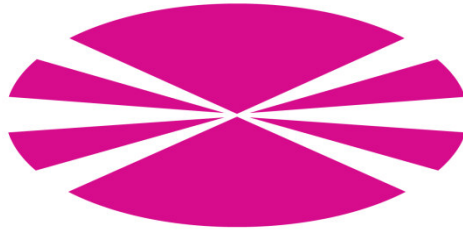


MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE



ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA

**ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS
DEMANDAS ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autora: Alejandra Nogueira Minguillón

Tutor: Francisco Javier López Rivadulla

Septiembre 2015

RESUMEN

La rehabilitación y regeneración urbanas son el pasaporte hacia la recuperación económica mediante la reconversión del sector de la construcción, de manera que se garantice un modelo sostenible e integrador desde el punto de vista social, ambiental y económico. España posee actualmente unas 580.000 viviendas nuevas vacías y suelos que se encuentran en entornos donde no es previsible un incremento de la demanda en los próximos años.

El sector de la construcción no podrá contribuir al crecimiento y recuperación económica española si se continúa con la transformación urbanística de suelos vírgenes y construcción de nueva vivienda sino que se debe actuar sobre el parque inmobiliario existente promoviendo políticas de sostenibilidad y mejora energética, ya que el sector de la edificación es responsable del 30%¹ del consumo de energía final en España.

Hasta hace relativamente poco tiempo, la rehabilitación de un edificio consistía en reparar la fachada mediante un mortero o una pintura, es decir un "lavado de cara", pero no se intervenía en ningún factor que pudiese suponer una mejora en la eficiencia energética.

En el presente Trabajo Fin de Máster se estudiarán las demandas energéticas de dos casos de estudio representativos de los años 70 en Lugo, y se propondrán medidas de mejora energética sobre la envolvente térmica. Estos cambios pueden suponer ahorros de hasta un 50% en el consumo de energía, con el consiguiente impacto medioambiental positivo y una reducción de la factura energética.

ABSTRACT

Rehabilitation and urban regeneration are the passport to economic recovery through restructuring of the construction sector so that sustainable and inclusive model is guaranteed in terms of social, environmental and economic. Spain currently has some 580,000 new homes empty and soils found in environments where it is not expected increased demand in the coming years.

The construction sector will not contribute to growth and Spanish economic recovery if it continues with the urban transformation of virgin land and construction of new housing but must act on the existing housing stock by promoting policies of sustainability and energy improves, as the building sector is responsible for 30% of final energy consumption in Spain. Until relatively recently, the rehabilitation of a building facade was to repair using a mortar or a

¹ Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes (PAREER-CRECE). Publicado en <http://www.controlastuenergia.gob.es> Fecha de actualización 09/01/2015

painting, that is, a "facelift", but did not intervene in any factor that could result in improved energy efficiency.

In this Master's Thesis energy demands of two cases of representative study of existing building stock will be studied, and energy improvement measures on the thermal envelope is proposed. These changes can make savings of up to 50% in energy consumption, and a positive environmental impact and lower energy bills.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1 ANTECEDENTES	5
2.2. SITUACIÓN NACIONAL. DEMANDA DE ENERGÍA.	9
2.3. SITUACIÓN EN GALICIA. DEMANDA DE ENERGÍA.	11
2.4. MARCO NORMATIVO	14
3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN	18
3.1. ASPECTOS PREVIOS. TIPOLOGÍAS	18
3.2. ENVOLVENTE TÉRMICA	20
3.2.1. Intervenciones en el cerramiento opaco de fachada	20
3.2.2. Intervenciones en la cubierta	24
3.2.3. Intervenciones en la carpintería exterior	26
3.3. MEDIDAS ACTIVAS	31
3.3.1. Instalaciones Térmicas	31
3.4. PROGRAMAS INFORMÁTICOS	36
4. MÉTODOLOGÍA	37
4.1. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA	37
4.2. DEFINICIÓN CONSTRUCTIVA	37
4.3. CÁLCULO	37
4.4. PROPUESTAS PARA LA MEJORA ENERGÉTICA	38
4.5. PRESUPUESTO	38
5. ESTUDIO ENERGÉTICO	39
5.1. DETERMINACIÓN DE LOS CASOS A ESTUDIAR	39
5.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	41
5.3. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS	45
5.4. ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970	46
5.4.1. Planimetría y análisis de distribución	46
5.4.2. Cuadro de superficies	47
5.4.3. Definición de elementos constructivos	48
5.4.4. Valores característicos de la envolvente	50
5.4.5. Resultados de las demandas energéticas obtenidas en el Estado Actual	52
5.5. ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970	62

5.5.1.	Planimetría y análisis de distribución.....	62
5.5.2.	Cuadro de superficies.....	63
5.5.3.	Definición de elementos constructivos.....	64
5.5.4.	Valores característicos de la envolvente.....	65
5.5.5.	Resultados de las demandas energéticas obtenidas en el Estado Actual.....	67
6.	PROPUESTAS DE MEJORA ENERGÉTICA	73
6.1.	ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970.....	76
6.2.	ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970.....	82
7.	ESTIMACIÓN DE LOS AHORROS ENERGÉTICOS OBTENIDOS AL APLICAR LAS MEDIDAS DE MEJORA PROPUESTAS.....	87
7.1.	ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970.....	88
7.2.	ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970.....	93
8.	CONCLUSIONES	98
8.1.	CONCLUSIONES GENERALES	98
8.2.	CONCLUSIÓN FINAL.....	100
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	101
9.1.	Libros, documentos, normativas y manuales de usuario.....	101
9.2.	Fuentes electrónicas	102
10.	ANEXOS	103
10.1.	PUENTES TÉRMICOS.....	103
10.1.1.	Puentes térmicos Estado Actual.....	106
10.2.	CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS.....	109
10.2.1.	MED_ER02_Adición de aislamiento térmico por el exterior_Caso 1: Bloque de viviendas 109	
10.2.2.	MED_ER03_Adición de aislamiento térmico por el interior_Caso 2: Vivienda unifamiliar	110
10.3.	MEDICIONES Y PRESUPUESTOS.....	111

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación es de vital importancia en el ámbito energético nacional puesto que su demanda energética, en cuanto a consumo total se refiere, se eleva a un 30%. El agotamiento de los combustibles fósiles, aumento del nivel de vida y de la exigencia de confort y el incremento de la población mundial entre otros, impulsan a marcar unos objetivos de reducción del consumo de energía sin que ello implique disminuir el confort en los hogares.

Es por ello que a lo largo del presente Trabajo Fin de Máster se estudiarán las demandas de energía de dos tipologías edificatorias representativas de los años 70, anteriores al Código Técnico de la Edificación, con el fin de analizarlas con detalle y proponer mejoras sobre los elementos de la envolvente térmica que presenten mayores pérdidas de energía, limitando así la demanda energética de la vivienda y consecuentemente la cantidad económica en las facturas.

Una vez se hayan definido las propuestas de mejora óptimas para los casos de estudio que se presentan, se calculará el ahorro energético por cada euro invertido ($\text{kWh}^{\text{neto}}_{\text{ahorro}}/\text{año}\text{€}_{\text{invertido}}$) con el fin de ofrecer a un posible cliente los beneficios que brinda un estudio previo del edificio, el cual nos permite ofrecer soluciones óptimas de eficiencia energética y beneficios reales de la inversión de un nuevo edificio realmente eficiente, en el que se cumplan los objetivos del plan de ahorro energético Europeo. Además se calculará el ahorro energético anual que nos proporciona cada medida de mejora así como el ahorro económico anual de la misma y el plazo de amortización.

Además de por indicado anteriormente, la temática de este TFM es de gran importancia ya que la rehabilitación energética se presenta como una oportunidad clave para la recuperación económica en nuestro sector.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

Los seres humanos empezamos a explotar los recursos energéticos que la naturaleza ofrecía con el descubrimiento del fuego, hace aproximadamente unos 800.000 años. Posteriormente, ya en la Edad Media, se produjo en Europa un uso generalizado del carbón como fuente sustituta a la madera, que tras siglos de explotación comenzaba a agotarse.

A partir de finales del s. XVII se produce un aumento de los descubrimientos científicos y los avances efectuados en el terreno de la Física y la Química con aplicación en el mundo de la

Ingeniería. Es en este periodo cuando se comienzan a realizar las primeras tentativas por fabricar máquinas de vapor, pero habría que esperar al s. XVIII para que James Watt desarrollase su máquina de vapor introduciendo claros progresos y mejoras convirtiéndola en el motor de la Primera Revolución Industrial.

A principios del s. XIX se inician los usos de las máquinas de vapor en tierra dando lugar a las primeras locomotoras actuando con este sistema. Así se creó el ferrocarril, permitiendo a los trenes desplazarse mediante rieles al suministrar el movimiento rotatorio producido por la máquina de vapor a las ruedas. A mediados del s. XIX, generalizado el sistema, se levantan ya amplias redes de ferrocarril en Europa y América del Norte y en menor dimensión en determinados lugares de América del Sur, África y Asia. El uso de la madera seguía presente en todo este crecimiento, por lo que pronto hubo que requerir al empleo de los combustibles fósiles, en un primer momento el carbón y después el petróleo.

A finales del s. XIX se comenzó a expandir por todo el mundo las redes de distribución de energía eléctrica, convirtiéndose como algo cotidiano el uso de la electricidad en las ciudades.

En el comienzo del s. XX la demanda de petróleo fue aumentando con respecto al carbón, mientras tanto el uso de electricidad siguió desarrollándose de manera exponencial creándose centrales térmicas e hidroeléctricas. Durante el s. XX se desarrollaron los cimientos de la Energía Nuclear.

En los últimos años del s. XX, se genera una creciente preocupación por el estado del medio ambiente y la extinción de los combustibles fósiles, produciéndose importantes progresos en la generación de energías renovables (solar, biomasa o eólica).

Las sociedades industrializadas² actuales demandan y utilizan cantidades ingentes de energía destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración. Todo el sistema de vida moderno está basado en la disposición de abundante energía a bajo coste. Su consumo ha ido creciendo continuamente paralelamente a los cambios de los hábitos de vida y las formas de organización social. Existe un abismo entre las demandas energéticas de los individuos de las primeras comunidades primitivas que se dedicaban a la caza y a la recolección y los ciudadanos de las sociedades hipertecnológicas actuales de los países desarrollados.

Es evidente la disparidad, en cuanto a obtención y consumo de energía, que existe en el mundo, provocando desequilibrios manifiestos en conflictos entre países (pobres y ricos,

² Artículo de UNED Energía y Desarrollo Sostenible. Publicado en <http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/energia.htm>. Fecha de actualización 09/03/2015

consumidores y productores). Europa ya dependía del petróleo árabe desde hace cuatro décadas, de allí procedían gran parte de los trece millones de barriles que se consumían diariamente en el viejo continente. Es en 1973³ cuando se produce la tan conocida primera crisis del petróleo, saltando todas las alarmas cuando la OPEP, (Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo), decidió no abastecer a Estados Unidos y sus aliados en Europa que habían apoyado a Israel en la guerra contra Siria y Egipto. Un embargo que no finalizaría hasta marzo de 1974, esto hizo incrementar el precio del crudo hasta tal punto que las autoridades europeas empezaron a buscar nuevos yacimientos para autoabastecerse. Además de esta crisis son conocidos otros ejemplos de tensiones mundiales ocurridas por el control del suministro como las producidas en 1979, la Guerra del Golfo Pérsico en 1990 o la más reciente guerra de Irak en 2003.

Durante las décadas de los años 50, 60 y 70, a raíz de acontecimientos como los anteriormente citados, se empieza a crear una conciencia medioambiental inexistente hasta entonces. Tras la crisis petrolífera de los años 70 aumentan los problemas de contaminación medioambiental, la masificación urbana y una serie de catástrofes dan lugar a la puesta en marcha de un proceso de conciencia del ecologismo y surgimiento de numerosas plataformas, organizaciones y movimientos de tipo ecologistas en todo el mundo para tratar de encontrar y fomentar un respeto por el medio ambiente. El eco del movimiento ecologista comienza a alcanzar una resonancia internacional, rebasando los límites de los grupos activistas para comenzar a instalarse en la conciencia de la opinión pública, especialmente en los países industrialmente avanzados, donde la degradación del medio ambiente comienza a deteriorar los niveles de calidad de vida.

Las ideas y conciencias ecologistas siguieron evolucionando de tal manera que del 3 al 14 de junio de 1992 en Río de Janeiro, 172 gobiernos, incluidos 108 Jefes de Estado y de Gobierno, aprobaron tres grandes acuerdos que habrían de dirigir la actividad futura: el Programa 21 (un plan de acción mundial para promover el desarrollo sostenible), la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, (un conjunto de principios en los que se definían los derechos civiles y obligaciones de los Estados), y una Declaración de principios relativos a los bosques (serie de directrices para la ordenación más sostenible de los bosques en el mundo). Se abrieron a la firma además dos instrumentos con fuerza jurídica obligatoria: la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Convenio sobre la Diversidad Biológica, que unos años más tarde daría lugar al Protocolo de Kioto.

³ Artículo de ArteHistoria. Crisis del petróleo y sus consecuencias. Publicado en <http://www.artehistoria.com/v2/contextos/3249.htm>. Fecha de actualización 09/03/2015

En 1997 los gobiernos de los países industrializados adoptaron el Protocolo de Kioto sobre cambio climático, cuyo objetivo es reducir las emisiones de los gases que provocan el calentamiento global estableciendo metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de gases de efecto invernadero que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar fósiles combustibles durante más de 150 años. En este sentido el Protocolo tiene como principio central la responsabilidad común pero diferenciada. La energía nuclear quedó excluida explícitamente de los mecanismos de dicho protocolo.

La movilización a nivel mundial del movimiento ecologista hizo posible la aprobación, así pues, el Protocolo de Kioto entró en vigor en febrero de 2005 y comprometiendo a los países a una reducción del 5% de media de las emisiones, con la referencia de 1990. España ratificó el Protocolo en febrero de 2002 y se comprometió a no aumentar sus emisiones en más de un 15%. Pero la realidad es que ha ido aumentando de forma constante sus emisiones, hasta más de un 50% en 2007.

El Protocolo de Kioto⁴ es considerado, en general, como el primer paso importante hacia un sistema mundial de reducción y estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero, y proporciona la arquitectura esencial para cualquier acuerdo internacional sobre el cambio climático que se firme en el futuro. Una vez que finalice el primer período de compromiso del Protocolo de Kioto en 2012, tiene que haber quedado decidido y corroborado un nuevo marco internacional que pueda aportar las severas reducciones de las emisiones que según ha indicado el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) son claramente necesarias.

La Cumbre sobre Cambio Climático de la Organización de las Naciones Unidas, es el principal espacio donde las Partes buscan llegar a un acuerdo internacional y vinculante con el objetivo de reducir las emisiones de dióxido de carbono y hacerle frente a la crisis climática, ambiental, y sistémica causada, en su mayor parte, por el efecto invernadero. La Vigésima Conferencia de las Partes (COP 20) en 2014, es la última reunión en el proceso hacia este acuerdo internacional que busca lograr compromisos que tengan un impacto directo en el Tratado sobre reducción de emisiones. En la Conferencia decimotercera llevada a cabo en Doha 2012 (COP 18) sobre el cambio climático se revalidó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020. Este proceso mostró un endeble compromiso de los países industrializados, tales como Rusia, Estados Unidos, Canadá y Japón los cuales decidieron no respaldar la prórroga.

⁴ Artículo de Wikipedia. Protocolo de Kioto. Publicado en http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico. Fecha de actualización 10/03/2015

2.2. SITUACIÓN NACIONAL. DEMANDA DE ENERGÍA.

España consume productos petrolíferos importados casi en su totalidad. Con motivo de encontrarse lejos de los yacimientos, la mayor parte del petróleo y gas natural que llega al país se realiza a través de gasoductos o barcos metaneros. Por otro lado aporta una escasa producción de recursos propios. Este hecho ha llevado a que el país posea una gran dependencia energética, cercana al 80% superando la media europea (entorno al 55%).

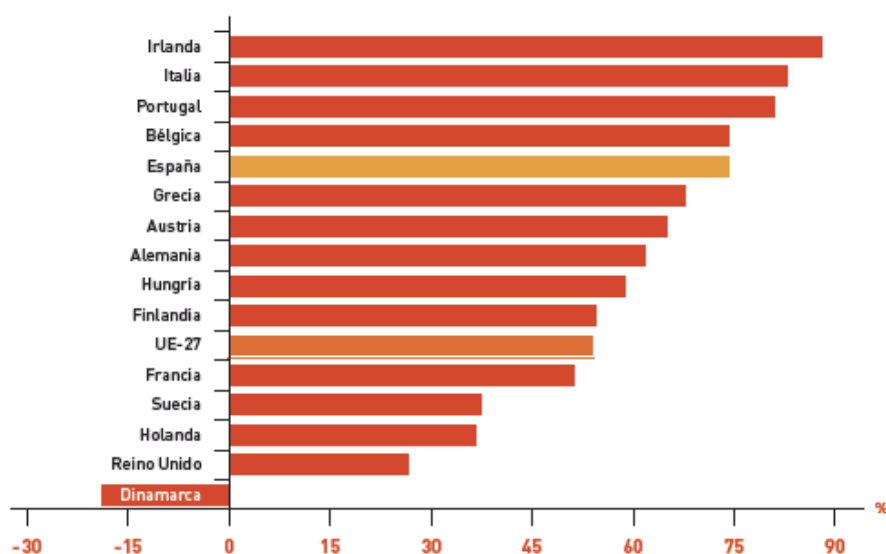


ILUSTRACIÓN 1⁵: DEPENDENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA Y UE27

A partir del año 2005 y tras las políticas actuales en cuanto a energías renovables y eficiencia energética se refiere, se comienzan a percibir cambios en la situación anterior registrándose una evolución positiva del grado de autoabastecimiento en España hasta alcanzar el 26% en 2010.

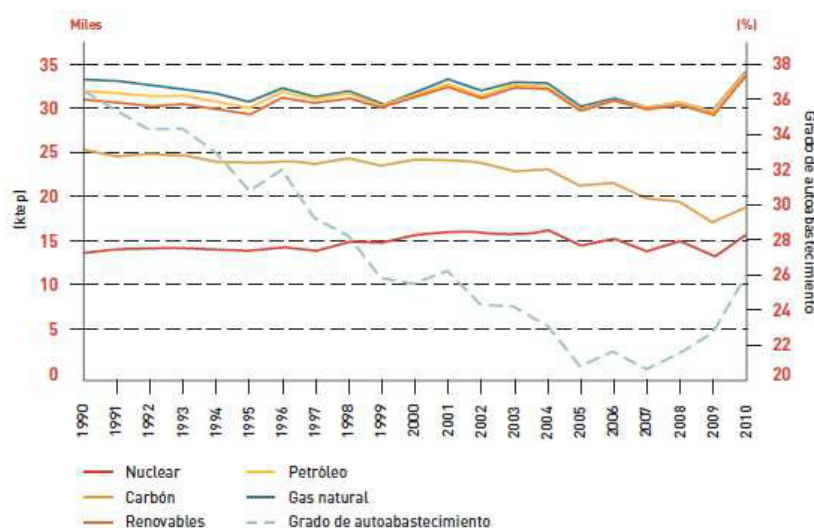


ILUSTRACIÓN 2⁶: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN INTERIOR DE ENERGÍA Y DEL GRADO DE AUTOABASTECIMIENTO

⁵ Gráfico de EUROSTAT (2009)/MITYC (2010). Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 06/02/2015

Según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo en el año 2011 el consumo de energía final en España fue de 93.238 Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep), un 4,4% por debajo que en 2010 (97.576 Ktep). El consumo de energía primaria (resultado de sumar a la energía final, consumos en los sectores energéticos y las pérdidas) en el mismo año fue de 129.339 Ktep, un 0,6% por debajo respecto al año anterior.

	2010	2011	Tasa de variación %
Carbón	1.390	1.251	-10,0
Gases Derivados del Carbón	265	307	15,9
P. Petrolíferos	46.454	43.962	-5,4
Gas	14.303	12.789	-10,6
Electricidad	22.410	21.744	-3,0
Energía renovables	5.666	6.174	9,0
Total usos energéticos	90.487	86.226	-4,7
<i>Usos no energéticos:</i>			
Carbón	36	56	56,5
Prod. Petrolíferos	6.582	6.417	-2,5
Gas natural	470	538	14,5
Total usos finales	97.576	93.238	-4,4

ILUSTRACIÓN 3⁷: CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (KTEP)

	2010	2011	Tasa de variación %
Carbón	7.156	12.456	74,1
Petróleo	60.993	58.317	-4,4
Gas natural	31.182	28.930	-7,2
Nuclear	16.155	15.024	-7,0
Hidráulica	3.636	2.631	-27,6
Eólica, solar y geotérmica	4.834	5.226	8,1
Biomasa, biocombustibles y residuos	6.894	7.280	5,6
Saldo imp-exp electricidad	-717	-524	-26,9
TOTAL	130.134	129.339	-0,6

ILUSTRACIÓN 4⁸: CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA (KTEP)

El 76,80% de la energía primaria consumida en el 2011 en España es producida por combustibles fósiles. Por otro lado el porcentaje de energía generada con combustibles fósiles

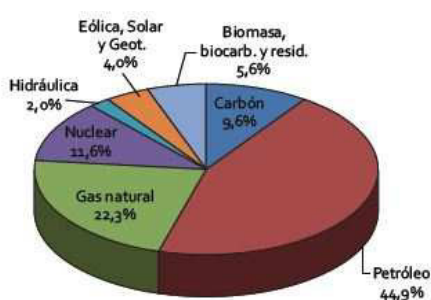


ILUSTRACIÓN 5⁹: CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA 2011

en el país español fue de 7,80 %.

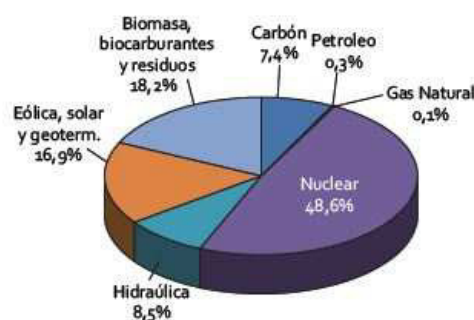


ILUSTRACIÓN 6¹⁰: PRODUCCIÓN INTERIOR DE ENERGÍA PRIMARIA 2011

⁶ Gráfico de SEE. Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 04/02/2015

⁷ Gráfico de SEE. Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 04/02/2015

⁸ Gráfico de SEE. Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 04/02/2015

2.3. SITUACIÓN EN GALICIA. DEMANDA DE ENERGÍA

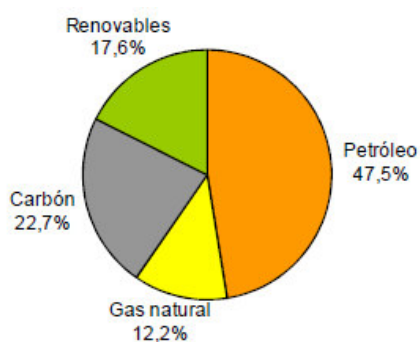
Según datos publicados por el INEGA, en el año 2012 Galicia generó el 9,8%(12.663 Ktep) de la energía primaria del país.



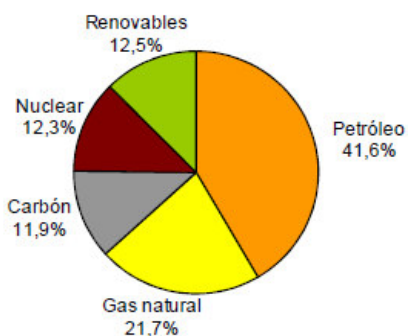
ILUSTRACIÓN 7¹¹: CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA

En las siguientes gráficas publicadas por el Inega se reflejan las proporciones de las distintas fuentes de energía primaria en Galicia, España, Unión Europea y en el mundo en 2012.

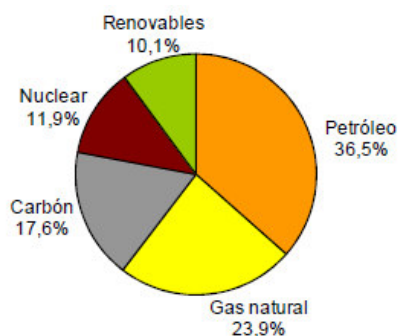
Energía primaria en Galicia



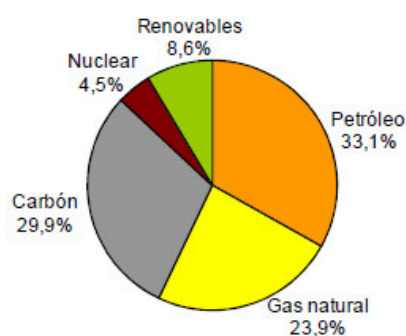
Energía primaria en España



Energía primaria en la UE



Energía primaria mundial



⁹ Gráfico de SEE. Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 04/02/2015

¹⁰ Gráfico de SEE. Publicado en Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 IDEA. Fecha actualización 04/02/2015

¹¹ Gráfico de Inega, Secretaría de Estado de Energía e BP Statistical Review of World Energy. Fecha actualización 04/02/2015

Como se puede apreciar en los distintos gráficos, Galicia posee el porcentaje más alto de energía primaria con energías renovables.

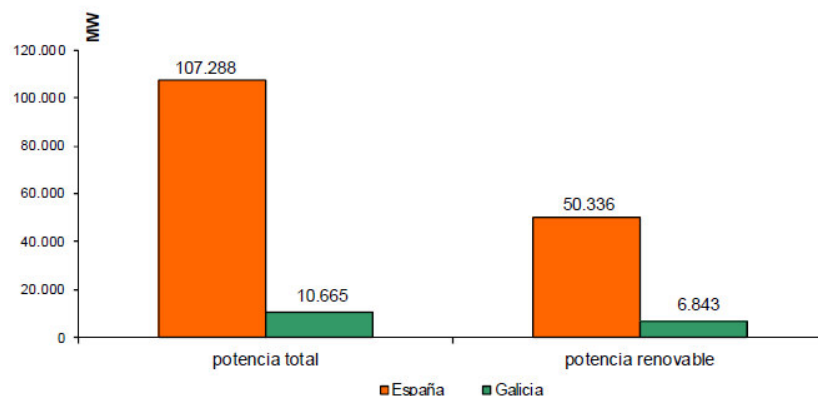


ILUSTRACIÓN 8¹²: POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA

El 9,90% de la potencia eléctrica total generada en España corresponde a Galicia contribuyendo con un 13,6% con energías renovables.

A comienzos del año 2014, se publica un comunicado por parte de la Comisión Europea en el que se marcan objetivos para el 2030:

- Generar un 27% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final de la UE.
- El 45% de la electricidad consumida proceda en el año 2030 en la UE de fuentes renovables.

La Directiva 2009/28/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables. Fija objetivos generales para conseguir un 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de la UE y un 10% para el sector del transporte en cada Estado miembro para el 2020.

En España se marcan objetivos para que las fuentes de energía renovable estén presentes al menos en el 20% del consumo de energía final en el 2020, además del 10% en el sector transporte.

Según el Inega, en el Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitario¹³ la UE marcó como objetivo para el 2010 la obtención de un 12% de la energía primaria total mediante fuentes de energías renovables.

¹² Gráfico de Inega, CNE y REE_ Secretaría de Estado de Energía e BP Statistical Review of World Energy. Fecha actualización 04/02/2015

¹³ COM (97) 599 final "Energía para el futuro: fuentes de energías renovables". Recogido por inega. Fecha actualización 04/02/2015

En el 2012, el consumo de energía primaria en Galicia fue de 12.663 ktep, de los cuales 2.232 ktep se generaron mediante fuentes renovables, lo que representa un 17,6%.

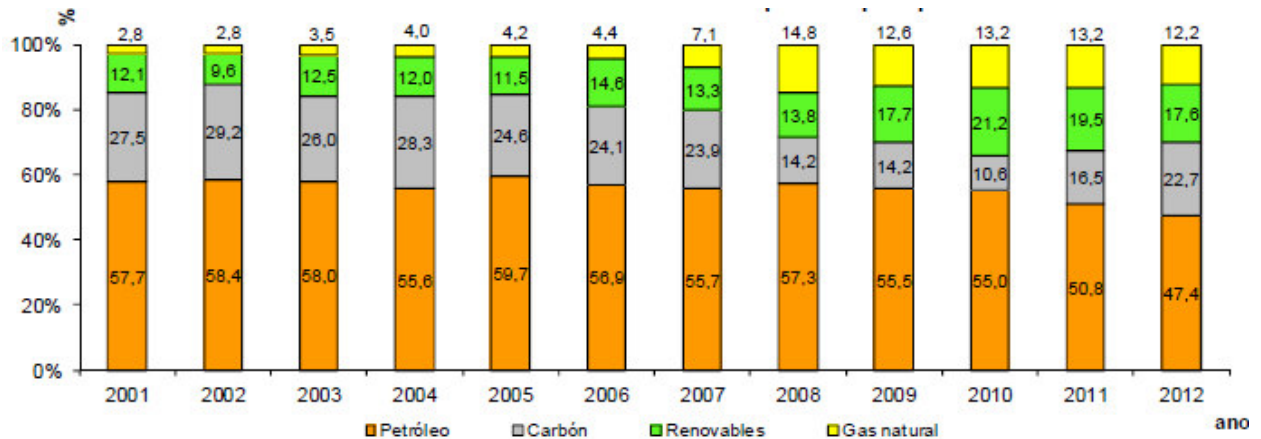


ILUSTRACIÓN 9¹⁴: EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR TIPO DE FUENTE

Hoy en día no existe ningún tipo de energía que cumpla con las demandas que la economía y la sociedad exigen, pues en caso de que existiera debería de poseer características como:

- Proporcionar y garantizar un suministro seguro y disponibilidad en todo momento.
- Accesible a la sociedad con importes razonables y aceptables.
- Proporcionar el máximo respeto posible con el medio ambiente.

Las energías existentes presentan limitaciones. Las de origen fósil generan una gran consistencia energética y pueden ser reservadas, pero producen gases de efecto invernadero, entre otros contaminantes, siendo limitadas en el tiempo. Se dice con preocupación que pueden quedar reservas de gas y petróleo para los próximos 40-60 años. Cabe señalar además en creciente coste de ambos.

La energía de fisión nuclear está cubriendo un espacio temporal hasta que se pueda utilizar la de fusión y solucionar su polémica social. Esto supondría una estabilidad en la economía y abastecimiento debido a la continuidad y equilibrio de precios que posee. La energía nuclear de fusión es todavía una promesa que de hacerse realidad abriría una alternativa futura absolutamente diferente a lo existente a día de hoy.

En cuanto a las energías renovables, éstas se encuentran sujetas a la inestabilidad climatológica, no son acumulables industrialmente hablando y no está asegurada su disponibilidad, pero colaboran a reducir el consumo de las energías fósiles. El precio de este recurso energético es aún muy elevado y requiere de políticas de ayuda externa financiera. En general no son contaminantes, salvo la biomasa: "...La biomasa está creando ahora otro

¹⁴Gráfico del Inega, Balance energético de Galicia 2012. Fecha actualización 04/02/2015

problema de contaminación. La calidad del aire empeora por la combustión de pellets. Los humos de la combustión de la biomasa contienen dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión, dióxido de azufre e hidrocarburos, todo el cóctel de agentes contaminantes. "Su inhalación produce Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)", Hasta el punto de que en países en desarrollo, donde es muy común, por ejemplo, cocinar con fuego de chimeneas o fórmulas similares, la exposición directa a las emisiones de la combustión de biomasa en interior de viviendas tiene la misma incidencia que el tabaco a la hora de contraer esta enfermedad pulmonar...¹⁵. La energía hidráulica puede ser todavía desarrollada en las economías emergentes pero con impactos ambientales que quizás ahora sean difíciles de aceptar.

2.4. MARCO NORMATIVO

En la Unión Europea se establecen requisitos y compromisos a través de Directivas Europeas, siendo éstas *"disposiciones normativas de Derecho comunitario que vincula a los Estados de la Unión o, en su caso, al Estado destinatario en la consecución de resultados u objetivos concretos en un plazo determinado, dejando, sin embargo, a las autoridades internas competentes la debida elección de la forma y los medios adecuados a tal fin"*¹⁶. La UE ha promulgado un gran número de directivas en cuanto a Eficiencia Energética se refiere, siendo las más características:

Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. DOUE nº 1, de 4 de enero.

Establece los requisitos relativos a:

- Marco general de una metodología para el cálculo del rendimiento energético de los edificios.
- Los requisitos mínimos de eficiencia energética para nuevas edificaciones.
- Los requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios existentes expuestos a reformas importantes.
- Certificación energética de los edificios.
- La inspección periódica de calderas de aire acondicionado, y la evaluación general del estado de la instalación de calefacción con calderas de más de quince años.

¹⁵ Artículo publicado por el diario El País http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/11/14/andalucia/1384457682_737079.html .
Fecha actualización 01/03/2015

¹⁶ Definición consultada en Wikipedia [http://es.wikipedia.org/wiki/Directiva_\(Derecho_de_la_Uni%C3%B3n_Europea\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Directiva_(Derecho_de_la_Uni%C3%B3n_Europea)).
Fecha actualización 01/03/2015

Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. DOUE nº 114, de 27 de abril.

Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. DOUE nº 153, de 18 de junio.

Los principales objetivos de esta directiva son:

- Fomentar la eficiencia energética en los edificios de la UE, considerando las características climáticas exteriores, las ambientales interiores y la relación coste/beneficio.
- Establece requisitos mínimos de eficiencia energética en edificios, unidades del edificio, elementos del edificio e instalaciones técnicas.
- Establece los requisitos mínimos relativos a los planes nacionales de promoción de la EE, a los procedimientos de certificación, inspección periódica de las instalaciones y control de certificados e informes.
- Fomenta la construcción de edificios de consumo de energía casi cero (alto rendimiento energético, consumo de energía casi nula y energía procedente mayoritariamente de fuentes renovables)

Edificios de consumo de energía casi nulo:

- A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos serán edificios de consumo de energía casi nulo.
- En el caso de nuevos edificios de las autoridades públicas la fecha límite es el 31 de diciembre de 2018.
- Los Estados Miembros formularán políticas para fomentar que los edificios que se reformen pasen a ser de consumo casi nulo.
- Los EE.MM presentarán planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo casi nulo e incluirá:

La definición detallada de este tipo de edificios, exponiendo las condiciones nacionales y locales, un indicador de consumo kWh/m², objetivos intermedios para 2015 y los incentivos financieros a aplicar.

Certificación, Inspección e Información:

- Los EE.MM establecerán un Sistema de Certificación de Eficiencia Energética de Edificios. El Certificado incluirá la EE del edificio y los valores de referencia que permitan hacer la comparativa. Incluirá también recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la EE. Los certificados tendrán validez máxima de 10 años.
- Los certificados serán obligatorios para los edificios, o unidades de edificios, que se construyan, vendan o alquilen, y para los edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie $> 500\text{m}^2$ y sean frecuentados por el público (a partir de 2015 el límite es 250m^2), y deberán exponer el Certificado en un lugar visible.
- Los EE.MM tomarán las medidas necesarias para hacer inspecciones periódicas de las instalaciones de calefacción, cuando la potencia útil de las calderas $> 20\text{KW}$, y de las instalaciones de aire acondicionado con potencia nominal $> 12\text{KW}$. Se emitirá un informe de la inspección con los resultados y recomendaciones de mejora.
- Tanto la Certificación de la EE como la Inspección de las instalaciones serán realizadas por expertos independientes cualificados o acreditados.
- Los EE.MM tomarán las medidas necesarias para informar a los propietarios de los métodos y técnicas de mejora de la eficiencia energética. Así mismo, los propietarios serán informados sobre los certificados de EE y los informes de inspección, su finalidad y objetivos.

Los Estados miembros elaborarán planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo. Estos planes nacionales pueden incluir objetivos diferenciados de acuerdo con la categoría del edificio.

Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

En el territorio nacional la normativa más representativa en cuanto a Eficiencia Energética es la siguiente:

Código Técnico de Edificación. Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE (actualizado).

Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE nº 219, de 12 de septiembre.

Corrección de errores del **Real Decreto 235/2013**, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE nº 125, de 25 de mayo.

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE nº 89, de 13 de abril.

Real Decreto 1390/2011, de 14 de octubre, por el que se regula la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada. BOE nº 249, de 15 de octubre.

Orden de 23 de diciembre de 2010 por la que se modifica la Orden de 3 de septiembre de 2009, por la que se desarrolla el procedimiento, la organización y el funcionamiento del Registro de Certificados de Eficiencia Energética de Edificios de la Comunidad Autónoma de Galicia. DOGA nº 6, de 11 de enero.

Orden de 13 de abril de 2010 por la que se aprueba el segundo Plan de inspección de eficiencia energética de instalaciones térmicas en la Comunidad Autónoma de Galicia. DOGA nº 83, de 4 de mayo.

Ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios. BOE nº 283, de 24 de noviembre.

Orden de 3 de septiembre de 2009 por la que se desarrolla el procedimiento, la organización y el funcionamiento del Registro de Certificados de Eficiencia Energética de Edificios de la Comunidad Autónoma de Galicia. DOGA nº 175, de 7 de septiembre.

Decreto 42/2009, de 21 de enero, por el que se regula la certificación energética de edificios de nueva construcción en la Comunidad Autónoma de Galicia. DOGA nº 45, de 5 de marzo.

Orden de 20 de enero de 2009 por la que se aprueba el primer plan de inspección de eficiencia energética de instalaciones térmicas en la Comunidad Autónoma de Galicia. DOGA nº 26, de 6 de febrero.

Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. BOE nº 279, de 19 de noviembre.

Corrección de errores del 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. BOE nº 276, de 17 de noviembre.

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. BOE nº 27, de 31 de enero.

3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN

3.1. ASPECTOS PREVIOS. TIPOLOGÍAS.

Las edificaciones se clasifican en función del uso que reciben ya que este supedita su funcionamiento, puesto que los consumos de energía y formas de uso no son iguales. Sobre todo decir que los consumos y horarios de una vivienda no son comparables con los de industria, así pues el DB-SUA del CTE hace la siguiente clasificación:

- *Uso Residencial: Edificio o zona destinada a alojamiento permanente, cualquiera que sea el tipo de edificio.*
- *Uso Residencial público: Edificio o establecimiento destinado a proporcionar alojamiento temporal, que puede disponer de servicios comunes, tales como limpieza, comedor, lavandería, locales para reuniones y espectáculos, deportes, etc. Incluye a los hoteles, hostales, residencias, pensiones, apartamentos turísticos, etc.*
- *Uso Administrativo: Edificio, establecimiento o zona en el que se desarrollan actividades de gestión o de servicios en cualquiera de sus modalidades.*
- *Uso Aparcamiento: Edificio destinado a estacionamiento de vehículos pudiendo incluir las zonas dedicadas a revisiones tales como lavado, puesta a punto, montaje de accesorios, comprobación de neumáticos y faros, etc.*
- *Uso Comercial: Edificio o establecimiento cuya actividad principal es la venta de productos directamente al público.*

- *Uso industrial:*
 - *Pequeño y Mediano Terciario. Edificaciones de uso industrial a pequeña y mediana escala.*
 - *Gran terciario. Edificaciones de uso industrial a gran escala, pudiendo contener grandes ventiladores, equipos de bombeo, torres de refrigeración. Su fundamental diferencia con los pequeños terciarios son las instalaciones de las que dispone.*

- *Uso Sanitario. Edificio o zona cuyo uso incluye hospitales, centros de salud, residencias geriátricas, consultorios, centros de análisis clínicos, ambulatorios, etc.*

- *Uso Docente. Edificio, establecimiento o zona destinada a docencia, en cualquiera de sus niveles: escuelas infantiles, centros de enseñanza primaria, secundaria, universitaria o formación profesional.*

Por otro lado el DB-HE del CTE tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía. En su exigencia básica HE1 – Limitación de la Demanda Energética se establece que la envolvente del edificio limitará adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico.

Los objetivos generales son:

- Aumento de las exigencias de transmitancia límite y nuevos requisitos para los elementos constructivos (p.e. factor solar modificado) frente a la normativa anterior (NBE-CA-79).
- Objetivo de reducción del 25% de la demanda energética.
- Reserva y acondicionamiento de espacio para instalaciones de energía solar.
- Incentivo de soluciones innovadoras.
- Edificios de mayor inercia térmica.
- Incentivo de arquitectura bioclimática y sustentable:
 - Captación solar directa y protecciones solares
 - Ventilación natural cruzada
 - Enfriamiento pasivo y evaporativo por utilización de agua o vegetación
 - Poder de inercia térmica de la tierra
 - Energías alternativas

3.2. ENVOLVENTE TÉRMICA

De manera sucinta se puede decir que los seres humanos nos protegemos con tres capas de piel, siendo la primera la correspondiente al tejido corporal, una segunda capa representada por la ropa y una última capa, el inmueble en el que nos encontramos.

El Código Técnico define a la envolvente térmica de la siguiente manera: "*Se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior*".

3.2.1. Intervenciones en el cerramiento opaco de fachada

La intervención más común a la hora de rehabilitar una fachada o mejorar la demanda energética de un inmueble es la aplicación de aislamiento térmico, pues este tiene como objetivo el dificultar las transmisiones de calor del interior al exterior y viceversa para evitar las pérdidas de calor en periodos fríos y la ganancia del mismo en épocas cálidas. Las soluciones más habituales para la aplicación de aislamiento térmico son las siguientes:

- Adición de aislamiento térmico por el exterior.
- Adición de aislamiento térmico por el interior.
- Adición de aislamiento térmico por inyección en cámaras.

3.2.1.1. Adición de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

Según la Guía del IDAE se entiende como sistema SATE "*un sistema compuesto de aislamiento por el exterior (SATE-ETICS) que se suministra como conjunto (kit) y se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Estos sistemas deben tener como mínimo un valor de resistencia térmica igual o superior a 1 m².K/W, como se indica en la guía ETAG 004 y en las normas UNE-EN 13499 y 13500. Se utilizan tanto en nueva construcción como en rehabilitación de edificios. Los sistemas SATE se pueden clasificar en función del tipo de fijación, material aislante utilizado, por aplicación y por tipos de acabado*"¹⁷.

Es importante respetar la concepción del SATE como un sistema integral de fachadas. *Ello supone que cada componente forma parte del conjunto, asegurando la*

¹⁷ Guía IDAE – Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior para Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Fecha actualización 10/03/2015

compatibilidad del sistema y el mejor resultado. Todos los componentes de un SATE deben estar concebidos y ensayados de forma conjunta para el uso que se va a dar al sistema. Esto debe respetarse desde la prescripción hasta el servicio postventa, pasando por el suministro y aplicación.

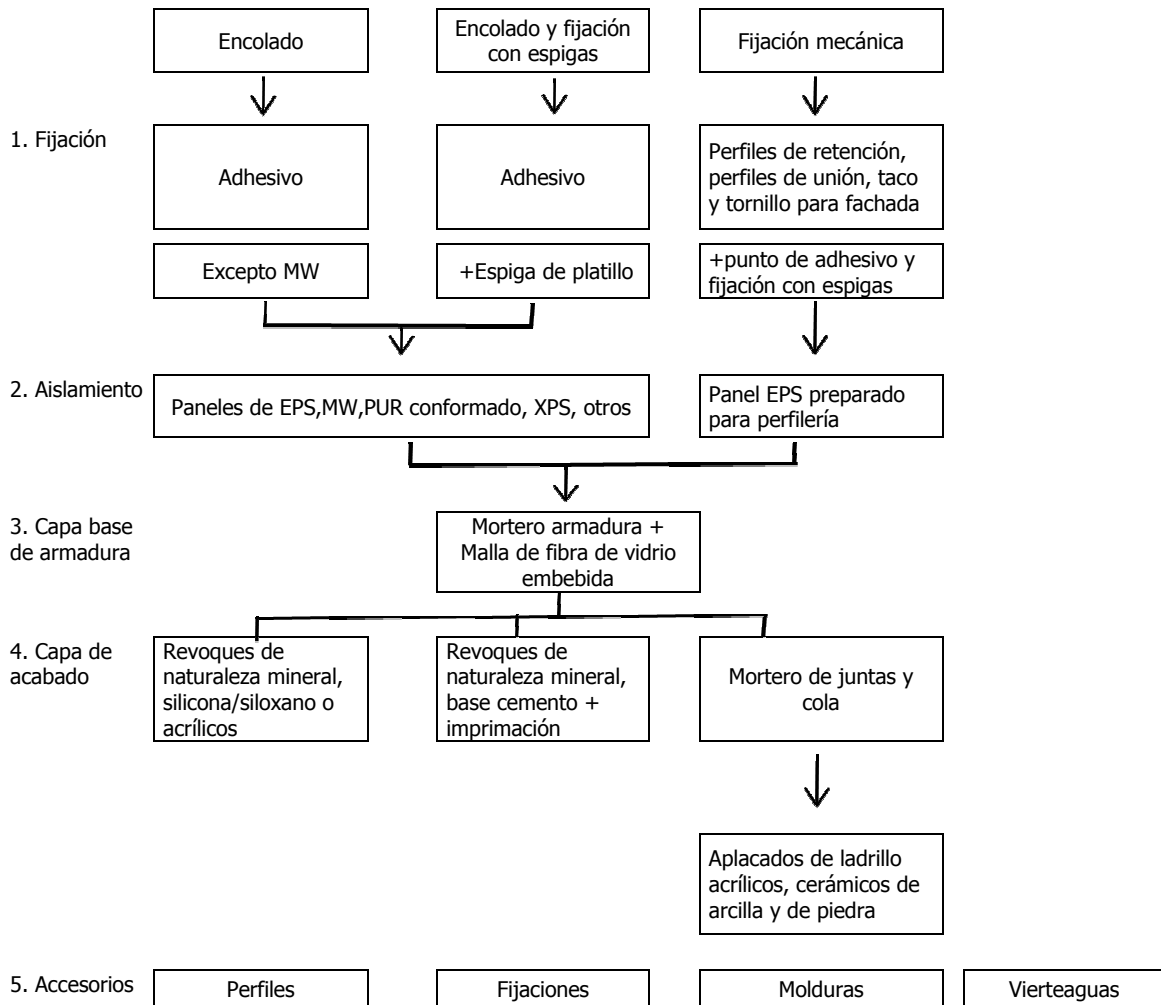
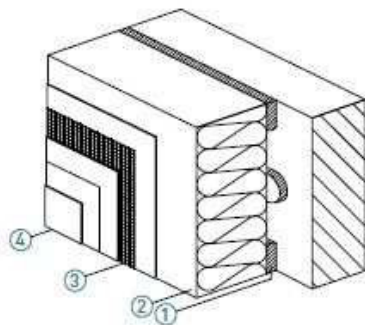


ILUSTRACIÓN 10¹⁸: ESQUEMA DEL SISTEMA SATE



1. Fijación
2. Aislamiento
3. Capa base armadura (mortero de armadura + malla de fibra de vidrio)
4. Capa de acabado
5. Accesorios (no representados en el gráfico)

ILUSTRACIÓN 11¹⁹: ESQUEMA DEL SISTEMA SATE

¹⁸ Esquema creado a partir de -Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior para Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios- IDAE. Fecha actualización 10/03/2015

Ventajas del Sistema:

- Eliminan puentes térmicos de forjados y pilares, por donde se escapa aproximadamente el 20% del calor/energía
- Garantizan la protección contra inclemencias atmosféricas.
- Reducen las tensiones térmicas y la formación de grietas.
- Optimizan el saneamiento de grietas.
- Se genera un aumento de la inercia térmica interior.
- Confiere impermeabilidad a la fachada.
- Mejora la estabilidad de la fachada.
- No reduce la superficie útil del edificio ya que el material se añade por el exterior del mismo.
- Gracias a estas mejoras el edificio se revaloriza.
- Se reduce la demanda energética, ya que el aislamiento mejora la acumulación de calor con el consiguiente ahorro económico.
- En una obra de nueva construcción se gana superficie de vivienda pues el aislamiento se efectúa en la fachada.
- Mejora de la insonorización acústica gracias al aislamiento que se consigue con la capa de lana de roca.
- Aumento del valor patrimonial.
- Disminuye el consumo de energía.
- El sistema es desmontable, reciclable y reutilizable.

En cuanto a los inconvenientes, no se considera ninguno relevante salvo que su uso no está permitido en fachadas protegidas y que además, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no sólo a una vivienda o local. Por ello, es requisito indispensable antes de la intervención, que la comunidad de vecinos esté de acuerdo en su conjunto.

¹⁹ Esquema del IDAE -Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior para Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Fecha actualización 10/03/2015

3.2.1.2. Adición de aislamiento térmico por el interior

Otra opción distinta al sistema anteriormente descrito es aislando térmicamente la fachada por el interior a través de trasdosado. El inconveniente más destacable que presenta este sistema es la reducción de superficie útil habitable de la vivienda además de no aprovecharse la totalidad de masa térmica del cerramiento.

Aunque con este sistema no quedarían resueltos todos los puentes térmicos, sí que es más efectivo que el sistema de inyectado en la cámara.

El sistema de trasdosado interior se adapta al tipo de cerramiento existente y lo mejora. Además ofrece las siguientes ventajas²⁰ frente a otros sistemas:

- Es una intervención rápida y sencilla, ya que es un sistema de construcción en seco, sin tiempos de espera de secado.
- No necesita instalar andamios, invadiendo la vía pública. Es una obra menor.
- Permite sanear y nivelar el cerramiento existente desde el interior así como alojar las instalaciones que discurran por él.
- Se puede ejecutar en una única vivienda, independientemente del resto en un edificio residencial.
- Mejora el aislamiento térmico, y en función de las prestaciones de aislante que se coloque, también el aislamiento acústico.

3.2.1.3. Adición de aislamiento térmico por inyección en cámaras

El último sistema más común en rehabilitaciones de fachadas es la inyección en la cámara de aire de aislamientos térmicos granulares, espumosos o en fibras.

Alguna de las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

- No es necesario desalojar las viviendas para realizar la intervención.
- No se pierde superficie útil de la vivienda.
- Ausencia de enfoscado, costes indirectos bajos.

²⁰ Artículo publicado en Certificados Energéticos. <http://www.certificadosenergeticos.com/rehabilitacion-energetica-envolvente-termica-aislamiento-trasdosado-interior-ce3x>. Fecha actualización 10/03/2015

- Tiene baja repercusión en la apariencia estética del edificio.
- No es necesario montar medio auxiliares como andamios. Reducción de coste.
- Proporciona algo de inercia térmica al interior del muro.
- Reduce el riesgo de condensaciones

Por otro lado presenta algún inconveniente:

- La presencia de instalaciones dificulta su aplicación.
- No permite un aislamiento térmico homogéneo ni reduce las posibilidades de que se produzcan puentes térmicos.
- Esta técnica es la que requiere más precisión y especialización por parte del aplicador.
- Requiere un control de obra muy intenso para garantizar la continuidad de la cámara.
- El aislante no es accesible para operaciones de inspección y mantenimiento.
- La aplicación de esta solución conlleva la creación de numerosos puentes térmicos.

3.2.2. Intervenciones en la cubierta

El elemento más delicado y expuesto a las inclemencias meteorológicas en un edificio es la cubierta, por lo que es común que se requieran pequeñas reparaciones en ellas como pueden ser goteras, humedades y desperfectos. Pero pocas veces, cuando se realizan estas intervenciones, se repara en principios térmicos o de ahorro energético lo que sería altamente manifiesto.

Por este motivo, a continuación se tratan las soluciones técnicas más comunes para la rehabilitación de cubiertas. Al igual que en las fachadas, la rehabilitación (más común) puede hacerse de dos maneras:

- Adición de aislamiento térmico por el exterior.
- Adición de aislamiento térmico por el interior.

3.2.2.1. Adición de aislamiento térmico por el exterior

Siempre que sea posible la intervención se realizará por el exterior, ya que de esta manera se alcanza una mejoría en los puentes térmicos, sin interferir en el día a día de los usuarios y sin verse reducida la altura libre del inmueble.

Alguna de las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

- Se aprovecha la inercia térmica del soporte resistente.
- Evita fenómenos de condensación.
- No es necesario desalojar las viviendas para realizar la intervención.
- No se reduce la altura libre de los habitáculos.
- Aumenta la temperatura superficial del forjado, reduciendo condensaciones interiores.

Por otro lado presenta algún inconveniente:

- Se tendrá que prever drenaje y los encuentros con elementos de la cubierta.
- Consenso de la comunidad de vecinos.
- Mayor coste económico que si se realiza por el interior.

3.2.2.2. Adición de aislamiento térmico por el interior

Este sistema se emplea normalmente cuando no es necesario realizar trabajos de reparación o impermeabilización en la cubierta exterior y cuando por diversos motivos no se pueda intervenir desde el exterior, además hay que tener en cuenta que la altura del bajo cubierta se reducirá al aplicar este sistema.

Alguna de las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

- Solución más económica que por el exterior.
- Evita el levantamiento de la cubrición.
- Aporta una mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo de la cubierta y una reducción del ruido de impactos.

Por otro lado presenta algún inconveniente:

- No es una solución adecuada cuando es necesario efectuar trabajos de impermeabilización o modificación de la cubierta externa del edificio.
- Existe riesgo de condensaciones, siendo necesario colocar una barrera de vapor.
- Debe disponerse de una altura mínima de aproximadamente 100 mm. para facilitar el montaje de los sistemas de anclaje y su nivelación.

- Se pierde altura libre de la vivienda.

3.2.3. Intervenciones en la carpintería exterior

Los puntos más débiles de la envolvente de un edificio (energéticamente hablando) son los huecos, ya que a través de ellos se producen las mayores pérdidas y ganancias de energía. Por otro lado, el querer proporcionar la máxima iluminación natural se opone al bajo grado de aislamiento térmico que las ventanas ofrecen. En épocas calurosas permiten el paso en exceso de las radiaciones hacia el interior de la vivienda y en épocas invernales son el punto por donde más calor se pierde. Por ello, es de suma importancia que la calidad de los componentes de la ventana (vidrio y marco) sea de una calidad alta y de unas características adecuadas para evitar las pérdidas térmicas en la vivienda reduciendo así el consumo energético.

Un elevado número de viviendas dispone de ventanas con poca calidad térmica, estas son las compuestas por marco sin rotura de puente térmico y vidrio sencillo. La mejora de estas ventanas es una intervención sencilla y económica y no precisa de grandes medios auxiliares ni estar de acuerdo con la comunidad, en gran parte de los casos se puede intervenir desde el interior obteniendo grandes ahorros en los consumos de energía.

A continuación se analizará sucintamente los principales componentes de las ventanas y que tanta influencia tienen a la hora de obtener un confort térmico, el marco y el vidrio.

3.2.3.1. Marco

Los marcos de las ventanas representan entre el 20% y el 40% de la superficie de las mismas. La transmitancia térmica y la absorptividad son las características más importantes del marco. La primera es una magnitud que refleja la cantidad de calor que atraviesa un cuerpo siendo más favorable cuanto más baja sea, es decir, cuanto más aislado esté. La absorptividad depende esencialmente del color del marco y de su material estando ligada a la re-emisión al interior del calor absorbido al incidir el sol sobre el marco.

La carpintería más común en el mercado de hoy en día es el siguiente:

- **Metálico:** Normalmente están fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados (anodizados, lacados, foliados imitando la madera). Ocupan aproximadamente un 25% del hueco y tienen una transmitancia térmica aproximada de **5,7 W/m²K**. Este valor es muy elevado, lo que hace que en muchas zonas

climáticas no se cumpla con lo especificado en el CTE puesto que no son eficientes en cuanto a aislamiento se refiere.

- **Metálico rotura de puente térmico:** La rotura de puente térmico no es más que la separación entre la cara exterior y la interior de un perfil metálico mediante elementos de baja conductividad térmica. Este tipo de marco tiene una intervención en el hueco del 25 al 30 %. Los valores de transmitancia térmica son más limitados que en el caso anterior estando comprendidos entre **3,20 y 4,00 W/m²K** pero siguen sin ser extremadamente aislantes. Se eluden las condensaciones superficiales y la temperatura superficial es bastante superior al metálico.
- **Madera:** Las carpinterías de madera se presentan como perfiles macizos proporcionando altos niveles de aislamiento térmico por la propia naturaleza del material y dependiendo de la densidad pueden llegar a alcanzar valores de **U = 2,2 W/m²K** hasta **U = 2,0 W/m²K**. La participación suele ser superior al 30 %. El principal hándicap ha sido su conservación aunque hoy en día las maderas que se emplean están sometidas a tratamientos y pruebas que solventan estos problemas.
- **PVC:** Perfiles huecos formados por dos o tres cámaras proporcionando los mejores comportamientos térmicos con valores de transmitancia de entre **U = 2,2 W/m²K** hasta **U = 1,8 W/m²K**. Su participación en la superficie del hueco es importante (del 35 al 40 %) lo que unido a sus propiedades de aislamiento beneficia a todo el conjunto.

El sistema de apertura y cierre que tengan las ventanas en general es muy importante con independencia del material de la carpintería, pues condiciona su permeabilidad al aire. En la norma UNE-EN 12207 se puede encontrar una clasificación de ventanas en función de este parámetro.

Numerosos son los estudios existentes sobre el impacto ambiental de las ventanas, como el recogido por *kommerling(empresa de sistemas de perfiles para ventanas)* en el que concluyen que los porcentajes más altos de consumo de energía (entre 42-97%) corresponden a la etapa de uso de la ventana. En este estudio adjudican importantes consumos de energía en las etapas de extracción y producción de materiales para las ventanas de aluminio (hasta un 52% del valor total), porcentaje que se reduce para las ventanas de PVC (14%) y madera (4%). El menor peso del PVC beneficia los costes del transporte de este material frente a otros materiales más pesados como el aluminio.

En el citado estudio atribuyen también el menor consumo de energía y de emisión de CO₂ a la ventana de PVC con un 30% de material reciclado, seguida por la ventana de PVC sin material reciclado. Los valores más altos de energía utilizada y de emisiones de CO₂ corresponden a las ventanas de aluminio sin material reciclado con y sin rotura térmica.

3.2.3.2. Vidrio

Teniendo en cuenta la superficie ocupada, el vidrio es quizás el elemento fundamental en el cerramiento permitiendo el paso de iluminación natural contribuyendo al confort del inmueble.

Por este motivo es muy importante, en términos de aislamiento térmico, tener en cuenta características como su transmitancia térmica (W/m^2K) y su factor solar²¹ (g).

- Vidrio sencillo o monolítico

Ventanas formadas por una única hoja de vidrio y también aquellas formadas por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie como son los denominados vidrios laminados. Dentro del vidrio sencillo se puede distinguir entre vidrios incoloros, de color, impresos, y de seguridad además de distintos tratamientos que propician modificaciones en las propiedades mecánicas, térmicas y espectrofotométricas de los mismos. El valor de transmitancia térmica que se suele dar de referencia para este tipo de vidrio es de $5,7 W/m^2K$ y factor solar (g) un valor aproximado de 0,83.



- Vidrio aislante

Ventanas formadas por dos o más hojas de vidrios monolíticos espaciados entre sí por uno o varios separadores cerrados herméticamente en todo su perímetro. Este tipo de acristalamiento limita mucho el intercambio de calor por convección y convección ya que entre las hojas de vidrio se encierra una cámara de aire inmóvil y seco con la baja conductividad térmica que eso supone. La existencia de esta cámara de aire provoca una reducción en el valor de la transmitancia térmica obteniéndose para la composición más básica (4-6-4)²² un valor aproximado de $3,3 W/m^2K$.



²¹ Definición CTE: cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco.

²² 4-6-4: Esta nomenclatura indica los espesores vidrio-cámara-vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior.

Cuanto mayor sea el espesor de la cámara mayor será la reducción de la transmitancia, hasta un punto en el que ya deja de ser efectiva (aproximadamente a los 17-18mm) que es cuando ya se producen fenómenos de convección dentro de la misma.

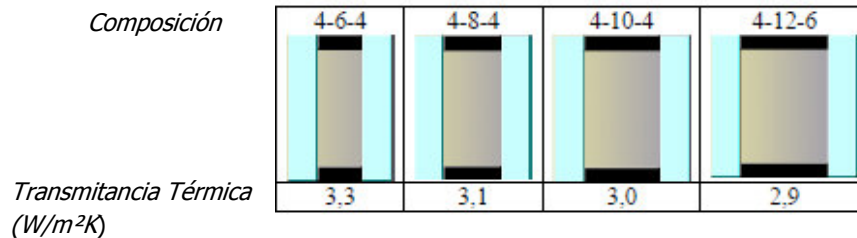


ILUSTRACIÓN 12²³: ESQUEMA DEL SISTEMA SATE

- Vidrio de baja emisividad



El vidrio de baja emisividad está desarrollado para reducir las pérdidas de calor desde el interior. Se compone de vidrios monolíticos sobre los que se dispone una capa de óxidos metálicos de tamaño nanométrico otorgando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Además contribuye a disminuir la carga que incorpora, a través del doble vidrio hermético, por radiación solar.

La apariencia que presenta es prácticamente igual a la de un vidrio incoloro, aunque puede ser templado, curvado, endurecido y laminado.

El valor de la transmitancia térmica²⁴ para unidades con una cámara de aire de 12 mm de espesor con vidrio normal es de 2.8 W/m²K y con vidrio de baja emisividad es de 1.8 W/m²K. Normalmente estos vidrios deben ir ensamblados en doble acristalamiento (UVA) brindando así sus máximas prestaciones de aislamiento térmico.

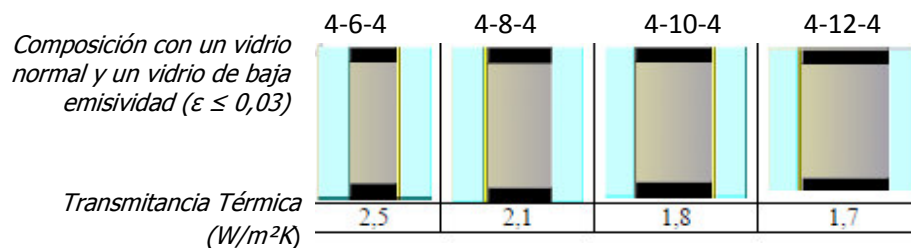


ILUSTRACIÓN 13²⁵: ESQUEMA DEL SISTEMA SATE

²³²⁶ Imagen del IDAE -Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior para Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Fecha actualización 17/03/2015

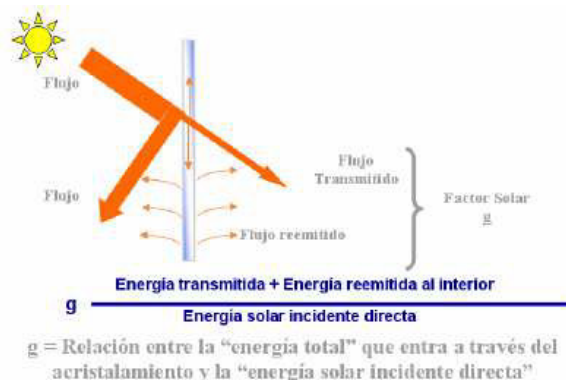
²⁴ Dato obtenido de artículo publicado en construmática. http://www.construmatica.com/construpedia/Vidrio_de_Baja_Emisividad. Fecha actualización 17/03/2015

- Vidrio con filtro solar

Este es un vidrio doble térmicamente reforzado al que se le añade una fina capa en una de sus láminas, de manera que sin afectar a la cantidad de luz reduce la cantidad de calor solar (energía de onda larga) que absorbe el vidrio y la cantidad de calor solar que pasa del exterior al interior a través del vidrio. El vidrio con filtro solar evita el calentamiento y minimiza los gastos de refrigeración,



funcionando de tal manera que la radiación calorífica se refleja, mientras que la luz natural entra en el inmueble sin apenas impedimento.



3.2.3.3. Hueco

Según el CTE para los huecos, es necesario definir la transmitancia térmica del vidrio ($U_{H,V}$), y el marco ($U_{H,m}$), la superficie de ambos, el factor solar del vidrio y la absorptividad de la cara exterior del marco. Así pues su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m}$$

siendo

$U_{H,v}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m^2K];

$U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [$W/m^2 K$]

FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

La superficie de acristalamiento en la ventana es mayor que la del marco lo que la transmitancia del primero tiene mayor repercusión que la del segundo.

En la siguiente tabla²⁶ se presentan los valores de transmitancia térmica global de hueco calculados para un 30% de área ocupada por el marco y 70% de superficie acristalada:

²⁶ Tabla de Guía IDAE -Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior para Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Fecha actualización 17/03/2015

Transmitancia térmica del hueco (W/m ² .K)					
Vidrio (70%)		Marco (30%)			
		Metálico U=5,7	Metálico RPT U=4	Madera U=2,5	PVC U=1,8
Monolítico 4mm	U=5,7	5,7	5,2	4,7	4,5
4-6-4	U=3,3	4	3,5	3,0	2,8
4-12-4	U=2,9	3,7	3,2	2,7	2,5
4-6-4 bajo emisivo	U=2,5	3,5	3,0	2,5	2,3
4-12-4 bajo emisivo	U=1,7	2,9	2,4	1,9	1,7

El factor solar modificado (F) del hueco depende fundamentalmente del acristalamiento que se utilice y de la superficie que este ocupe y en menor medida del material del marco. El cálculo de este parámetro se obtiene mediante la siguiente expresión recogida en el CTE:

$$F = (1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha$$

FM: Fracción de marco sobre el total del hueco

g_{\perp} : factor solar. Cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco.

U_m = Transmitancia térmica del marco del hueco (W/m²K)

α = Absortividad del marco obtenida en función de su color

En caso de que existan obstáculos en el exterior que generen sombreado se aplicará un factor de sombra (F_s), que no es más que un factor corrector, como se indica en el CTE.

3.3. MEDIDAS ACTIVAS

3.3.1. Instalaciones Térmicas

Como se describe en la guía publicada por el IDAE las medidas activas son aquellas que inciden sobre los sistemas de producción de frío o calor de los edificios existentes. Generalmente y a grandes rasgos las medidas de mejora en este campo se pueden dividir en dos grupos como son las medidas contribuyentes a disminuir el consumo como consecuencia de un aumento del rendimiento medio estacional de los sistemas y de una reducción de la relación de demandas.

Alguna de las medidas más habituales son las que se describen a continuación:

- **Incorporación de sistemas de calefacción de baja temperatura**

Estos sistemas de calefacción emplean un fluido a una temperatura muy por debajo de los sistemas tradicionales alcanzando ahorros energéticos en comparación a la convencional calefacción por radiadores que utilizan temperaturas de agua de 80°C aproximadamente, ya que se trata de un sistema de calefacción a baja temperatura empleando temperaturas inferiores a 50°C.

En cuanto al impacto medioambiental de esta medida, al trabajar a bajas temperaturas, repercutirá en un menor consumo de combustible, evitando el consumo de materias primas minimizando así las emisiones procedentes de la combustión y con ello los GEI (gases de efecto invernadero) y otros compuestos que pueden perjudicar a al ecosistema y salud de las personas.

- **Empleo de chimeneas concéntricas de recuperación energética en las instalaciones de calderas estancas para la producción de ACS**

Se trata de sistemas de suministro de aire exterior para la producción de ACS mediante una cámara de combustión interna y un conducto de extracción de gases para nuevamente dirigirlos hacia el exterior. Con este sistema lo que se consigue es que los gases de combustión internos no puedan ser difundidos a través del interior de la vivienda.

Medioambientalmente hablando, al ser conductos de evacuación concéntricos facilitan un calentamiento del aire de entrada (el gas que sale caliente, transfiere su calor al aire entrante que está frío). Este hecho favorece un menor gasto energético para conseguir la temperatura de confort dentro de la vivienda lo que influye en un menor consumo de combustibles y en consecuencia de materias primas minimizando las emisiones derivadas de la combustión.

- **Instalación de sistemas de biomasa para generación de calefacción/refrigeración y ACS**

Los sistemas de biomasa²⁷, *contribuyen a la conservación del medio ambiente, debido a que sus emisiones a la atmósfera son inferiores que las de los combustibles sólidos, por su bajo contenido en azufre, nitrógeno y cloro. La mayor ventaja es el balance neutro de CO₂, al cerrar el ciclo de Carbono, que comenzaron las plantas en su crecimiento. Por tanto se puede decir que las emisiones de biomasa no son contaminantes, ya que su composición es básicamente parte del CO₂ captado por la planta de origen de la biomasa, y vapor de agua.*

Existe gran variedad de biocombustibles utilizados: Pellets, astillas, huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, etc. Un porcentaje de la biomasa utilizada procede de materiales residuales que es necesario eliminar.

La producción térmica puede realizarse a través de:

- Estufas, normalmente de pélets o leña, que calientan una única estancia.
- Calderas de baja potencia para viviendas unifamiliares o construcciones de tamaño reducido.
- Calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, que actúan como calefacción centralizada.
- Centrales térmicas que calientan varios edificios o instalaciones (*district heating*) o grupo de viviendas.

Los sistemas de biomasa son considerados con el medio ambiente y no contribuyen al aumento de gases de efecto invernadero ya que las emisiones de CO₂ se compensan con las absorbidas por la planta durante su crecimiento.

- **Empleo de energía solar térmica para la producción de ACS**

Uno de los procedimientos más eficaces basados en energías renovables son los sistemas de calentamiento de agua basados en el uso de energía solar. Estos sistemas funcionan incluso cuando la zona climática en la que se encuentra el edificio no cuenta con las características climáticas óptimas en cuanto a radiación solar se refiere.

En instalaciones centrales la integración de las instalaciones solares es relativamente sencilla, la instalación tradicional se puede realizar con los criterios analizados en los

²⁷ Biomasa – edificios. IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Fecha actualización 22/03/2015

apartados anteriores, con la diferencia de que al sistema de producción de ACS en lugar de llegarle agua de la red se le suministrara el agua proveniente de la instalación solar.

Para poder alcanzar aportaciones solares altas es conveniente que la acumulación tradicional tenga el menor volumen posible, compatible con las necesidades de consumo, destinando las mayores acumulaciones a la energía solar.

Para disponer de una potencia de intercambio alta, con acumulaciones menores, lo más adecuado es que las instalaciones tradicionales se realicen con depósitos e intercambiadores externos de placas, que se pueden dimensionar para altas potencias; si se optase por interacumuladores para obtener las superficies de intercambio necesarias se deben incrementar los depósitos, lo que obliga a atender a un mayor volumen con las calderas, reduciendo las posibilidades de aportación solar.

- **Aumentar el uso de energía solar térmica para la producción de ACS**

Los sistemas generadores de ACS basados en el uso de energía solar forman uno de los métodos más eficientes basados en energías renovables. Los sistemas de energía solar funcionan incluso en zonas geográficas donde las condiciones climáticas no son las más adecuadas en cuanto a radiación solar se refiere.

Según la guía de edificación sostenible para la vivienda del País Vasco, un calentador de agua mediante energía solar puede llegar a suministrar hasta el 80% de la demanda de agua caliente necesaria en una vivienda. Un sistema de calentamiento de agua solar incluye un colector solar (o una serie de colectores solares) un tanque de almacenamiento (que puede ser individual o colectivo) y un sistema de control y bombeo. Además de estos componentes será necesario material adicional como tuberías, material aislante, válvulas y otros accesorios.

Los colectores solares son relativamente simples y se adaptan al tejado de los edificios nuevos así como al de edificios ya existentes. Un buen colector solar debe tener una vida mínima de 20 a 30 años.

- **Sistemas de bomba de calor para la generación de calefacción/refrigeración y ACS**

Una bomba de calor es una máquina térmica que permite transferir el calor de una fuente fría a otra más caliente, siendo necesario para ello un aporte de energía exterior.

Como foco frío se puede utilizar aire, agua o el calor del terreno, y como foco caliente, aire o agua²⁸.

La característica fundamental y por la que estas máquinas son muy interesantes, es que la energía necesaria para llevar a cabo esta transferencia de calor es muy inferior a la energía total transferida o energía utilizada.

El alto rendimiento de la bomba de calor minimiza el consumo de energía favoreciendo una reducción en el uso de combustibles y con ellos de materias primas. Esto provoca una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y otros compuestos que pueden perjudicar a al ecosistema y salud de las personas.

- **Sistemas de cogeneración para las necesidades de energía eléctrica y térmica**

Por cogeneración²⁹ se entiende al sistema mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor de agua, ACS, agua o aire frío...) aprovechando una parte importante de esta última, que de lo contrario pasaría a disiparse a la atmósfera. Por este motivo los sistemas de cogeneración están directamente ligados a un centro consumidor de esa energía térmica.

Los sistemas de cogeneración poseen un rendimiento superior al generado por sistemas de generación independientes de electricidad y calor, aunque siempre inferior a 1.

- **Incorporación de sistemas de domótica para el control de los periodos de puesta en servicio acorde a los horarios de ocupación de cada zona del edificio y mejorar el mantenimiento de las instalaciones**

La domótica³⁰ es un conjunto de instalaciones o equipos destinados a controlar y automatizar la gestión inteligente de un edificio o vivienda. Las principales ventajas que aporta son confort, seguridad, adecuada gestión del uso de los equipos o instalaciones energéticas, ahorro en el consumo de electricidad, de agua y de combustibles.

Con estos equipos se puede realizar una gestión inteligente de las instalaciones de climatización, iluminación, agua caliente, así como de otros equipos e instalaciones para realizar un adecuado aprovechamiento de la energía. Los sistemas para monitorizar los consumos permiten saber en cada momento qué cantidad de energía se consume, de

²⁸ Definición recogida en Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor. Fecha actualización 22/03/2015

²⁹ Definición recogida en Ambientum http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Sistemas_de_cogeneracion.asp. Fecha actualización 22/03/2015

³⁰ Definición recogida en Ovacen <http://ovacen.com/domotica-y-eficiencia-energetica-de-edificios-ovacen/>. Fecha actualización 22/04/2015

forma que dicha información ayuda al usuario a adaptar sus hábitos con el objetivo de reducir el coste de su factura y mejorar la eficiencia energética.

3.4. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Para verificar, de forma temporal y bajo ciertas condiciones técnicas, las exigencias de demanda energética establecidas en los apartados 2.2.1.1.1, 2.2.1.1.2 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB- HE del Código Técnico de la Edificación se empleará la aplicación informática LIDER, patrocinada por el Ministerio de Vivienda y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Esta herramienta está diseñada para realizar la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios, así como para llevar a cabo los cálculos de demanda energética de los edificios. La definición de los inmuebles es compatible con la requerida por el programa CALENER en sus diferentes versiones adaptadas a los sectores residencial, pequeño y mediano terciario y gran terciario.

Recientemente estas dos aplicaciones se han unificado en una sola plataforma "Herramienta unificada Lider – Calener". Los resultados obtenidos vendrán indicados en la escala oficial, mostrando:

- La calificación de eficiencia energética global del edificio objeto y el de referencia.
- Los indicadores de emisiones de CO₂ por m² del edificio objeto y el de referencia.
- Los límites entre las diferentes clases de eficiencia energética.
- Las calificaciones parciales de los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS de ambos edificios.
- Las demandas de calefacción y refrigeración en Kwh/m² para el edificio objeto y el de referencia y las calificaciones parciales.

Para el cálculo de los puentes térmicos se empleará Therm que es un programa informático para el Análisis de la Transmisión del Calor Bi-dimensional a través de Elementos Constructivos, desarrollado por Lawrence Berkeley National Laboratory (**LBNL**). El programa realiza los cálculos conforme la norma UNE-EN ISO 10211:2007 "Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados".

4. METODOLOGÍA

Los pasos que se seguirán en los casos prácticos, una vez se haya elegido las tipologías constructivas más representativas a estudiar, serán los siguientes:

4.1. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

- Situación y orientación del edificio
- Geometría del edificio
- Distribución y clasificación de los espacios habitables y no habitables
- Localización de cada tipología de cerramiento
- Posición y dimensiones de cada abertura de fachada (puertas, ventanas, lucernarios, etc.)
- Localización, dimensiones y orientación de obstáculos que puedan hacer sombra a los cerramientos exteriores.

4.2. DEFINICIÓN CONSTRUCTIVA

- Cerramientos :
 - Grosor y propiedades de cada una de las capas que componen la envolvente
- Huecos y lucernarios:
 - Tipo de marco y vidrio
 - Porcentaje de hueco cubierto por el marco.
 - Permeabilidad al aire de las carpinterías.
 - Factor solar del vidrio.
- Puentes térmicos:
 - Transmitancia térmica lineal

4.3. CÁLCULO

Se procederá al cálculo del edificio iniciándose el motor de cálculo de la demanda energética para el edificio objeto y el de referencia, mostrándose la comparación entre la demanda de calefacción y refrigeración del edificio objeto y el de referencia, dado en porcentaje y en diagrama de barras (software "Herramienta unificada Lider-Calener").

Además se muestra la importancia relativa de calefacción y refrigeración, de forma que la suma es 100. Si una de las dos demandas fuese inferior al 10% de la otra, no se tendría en cuenta para la verificación de la normativa.

Podremos conocer otros datos como son las calificaciones parciales de los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS del edificio objeto y el de referencia y las demandas de

calefacción y refrigeración en Kwh/m² para ambos edificios y sus calificaciones parciales.

4.4. PROPUESTAS PARA LA MEJORA ENERGÉTICA

Existen generalmente dos caminos posibles, uno es la reducción de la demanda energética del edificio y el otro es la mejora del rendimiento de los sistemas o instalaciones térmicas.

1. Reducción de la demanda energética del edificio

- Mejora del aislamiento de la envolvente térmica del edificio:
 - o Aislamiento térmico cerramientos opacos.
 - o Mejora de las características térmicas de elementos semitransparentes (vidrio doble/triple hermético – Reducción del factor solar del vidrio – Vidrios con baja emisividad y/o factor solar reducido).
 - o Eliminación o minimización de puentes térmicos
- Disposición de muros de acumulación tipo trombe.
- Otros factores: % de huecos, orientaciones, elementos de sombra, renovaciones e infiltraciones de aire.

2. Mejora del rendimiento de las instalaciones térmicas

- Instalación de equipos de alta eficiencia térmica:
 - o Calderas de condensación
 - o Calderas de baja temperatura
 - o Calderas de biomasa
- Empleo de energías renovables:
 - o Energía solar térmica
 - o Bomba de calor geotérmica

Una vez introducidas las propuestas de mejora se volverá a proceder a la simulación energética de cada una de ellas obteniendo las nuevas demandas pudiendo así calcular ahorros energéticos en KWh neto/año comparando las nuevas demandas con las obtenidas en el estado actual del inmueble.

4.5. PRESUPUESTO

Se generará un presupuesto sobre las propuestas de mejora elegidas así como un estudio que relaciones los KWh ahorrados y los años invertidos.

5. ESTUDIO ENERGÉTICO

5.1. DETERMINACIÓN DE LOS CASOS A ESTUDIAR

Para llevar a cabo el desarrollo de este punto es primordial fijar qué tipología de edificación se va a estudiar así como el año de construcción de la misma. Para realizar esta elección se ha consultado la página web del INE (Instituto Nacional de Estadística) con el fin de obtener información del parque inmobiliario de Galicia y saber qué casos son los más representativos.

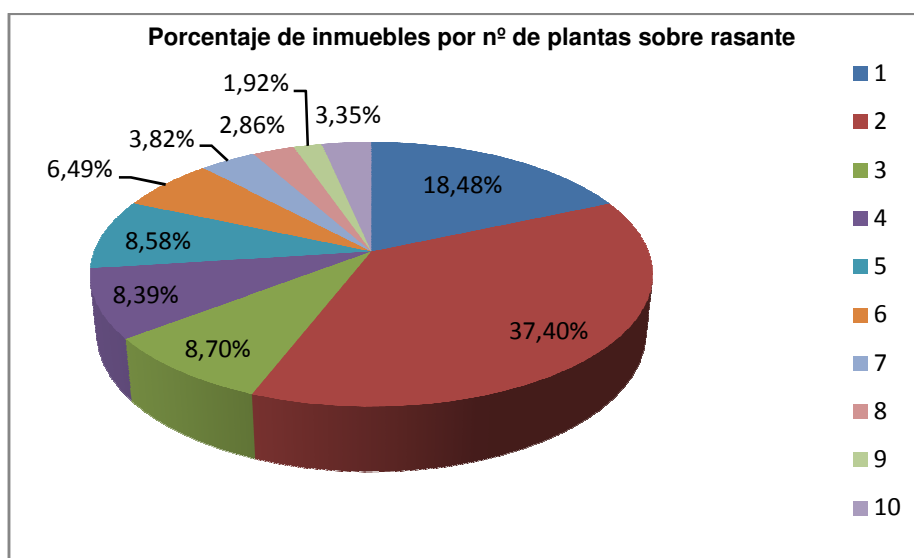
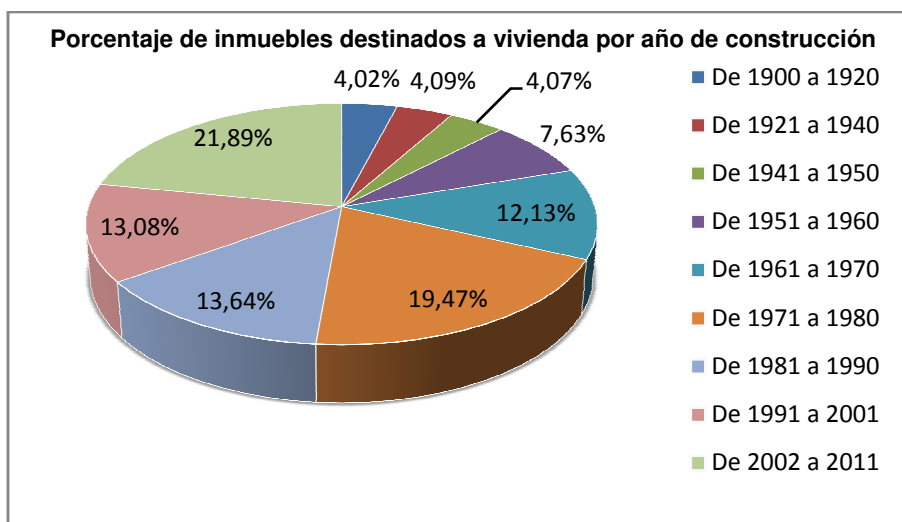
Lo primero que se realiza es un filtrado de datos con los siguientes parámetros:

- Zona: Comunidad Autónoma – Galicia
- Tipo: Edificios destinados principal o exclusivamente a viviendas y nº de inmuebles según año de construcción por nº de plantas sobre rasante.
- Año de construcción: Hasta 2011

Así pues se obtienen los siguientes resultados:

ANTES DE 1900		De 1900 a 1920		De 1921 a 1940		De 1941 a 1950		De 1951 a 1960	
Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles
96.723	109.716	42.033	48.998	39.780	52.918	36.581	55.618	63.687	109.138
De 1961 a 1970		De 1971 a 1980		De 1981 a 1990		De 1991 a 2001		De 2002 a 2011	
Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles
81.229	193.591	120.501	320.701	95.140	214.034	82.321	214.041	134.711	361.348
TOTAL HASTA 2011		TOTAL DE 1950 A 2011							
Edificios	Inmuebles	Edificios	Inmuebles						
792.706	1.680.103	577.589	1.412.853						
				1.990.442					

Como se puede observar en la tabla, el periodo en el que el número de inmuebles es mayor corresponde a los años comprendidos entre 1950 y 2011 construyéndose un total de 1.990.442 inmuebles destinados a vivienda en la comunidad Autónoma de Galicia.



Entre los años 50 y 80 fueron construidos el 39,23% de los edificios destinados a vivienda en Galicia, siendo a finales de la década de los 80 (1979) cuando entra en vigor la primera Norma Técnica de la Edificación y posteriormente en 2006 el Código Técnico de la Edificación. Entre la década 1980 y 2011 se construyeron el 48,61% de los edificios destinados a vivienda en Galicia.

Analizando el segundo gráfico se obtienen como resultados un 55% de edificaciones de PB o PB+1, un 32% corresponde a edificaciones de PB+2 a PB+5 y por último, el 13% restante corresponde a inmuebles entre PB+6 a PB+9 ó más.

Una vez analizada esta información obtenida en el INE, se entiende que los casos más representativos son los anteriores al 2006, puesto que se pueden conseguir porcentajes de ahorro energético muy elevados. Así pues, teniendo en cuenta que el mayor porcentaje de

inmuebles fue construido entre 1950 y 1980 y que la tipología más extendida es la de PB+1 los casos a estudiar serán:

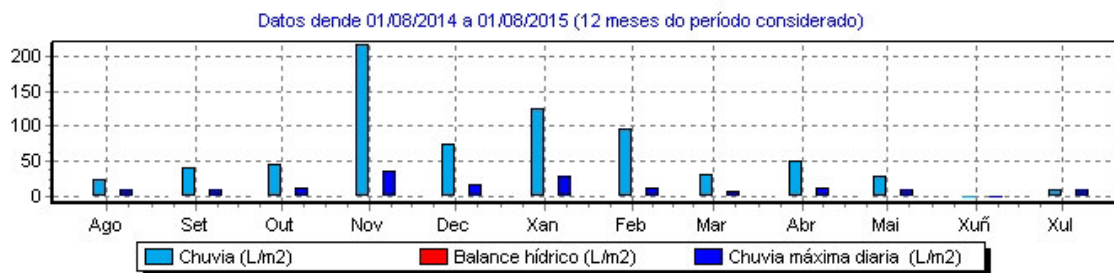
- 1) Bloque de viviendas PB+3+BC. Año construcción 1970.
- 2) Vivienda unifamiliar PB+1+BC. Año construcción 1970.

5.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El emplazamiento de los casos de estudio se determina tras un breve análisis de los datos disponibles en Meteo Galicia³¹ sobre los distintos climas de las cuatro provincias gallegas:

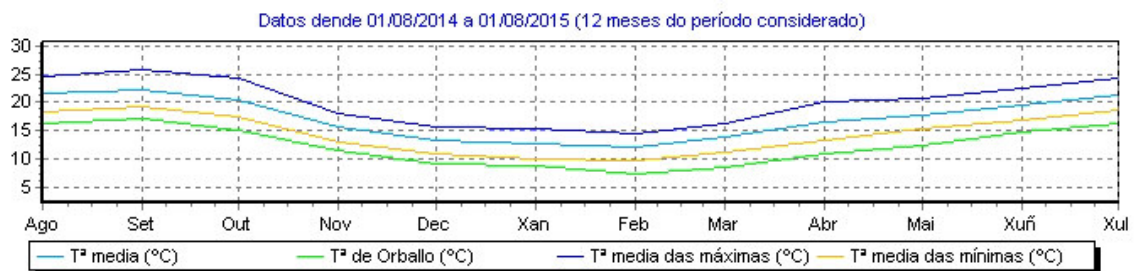
- **A CORUÑA**

Diagrama de precipitaciones



Junio es el mes más seco, con 0,7 L/m2. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año es noviembre con 216,3 L/m2.

Diagrama de temperatura



Entre Julio y Septiembre se obtienen las temperaturas más altas del año con un promedio de 25.1 °C. El mes más frío del año es Febrero con una temperatura mínima promedio de de 10 °C.

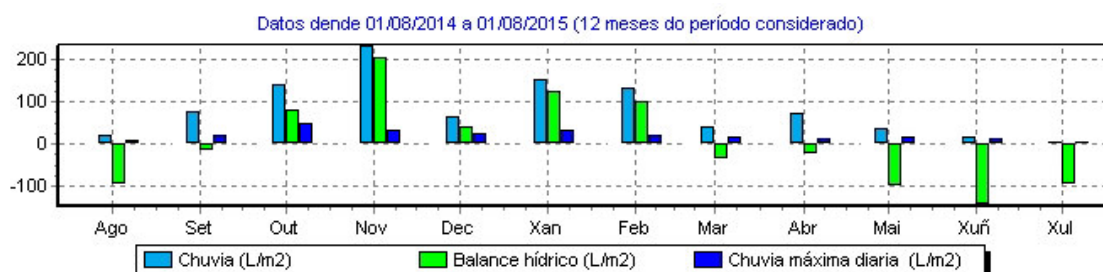
³¹ Datos y gráficos obtenidos en MeteoGalicia. Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras. Fecha actualización 10/07/2015

Tabla climática

Humedad relativa e temperatura	Máxima	Mínima	Media	Unidad
Temperatura de rocío	17,1	7,2	12,3	°C
Temperatura máxima	32	17,4	25,1	°C
Temperatura media	22,3	12,2	17,3	°C
Temperatura mínima	15,8	4,7	10	°C
Humedad relativa máxima media	88	83	85,2	%
Humedad relativa media	76,9	70,3	73,2	%
Humedad relativa mínima media	63	54	58,5	%
Temperatura media de las máximas	25,9	14,6	20,1	°C
Temperatura media de las mínimas	19,3	9,6	14,6	°C
Horas de Frío (Base 7 °C)	21,5	0	4,9	h
Días de helada	0	0	0	Días

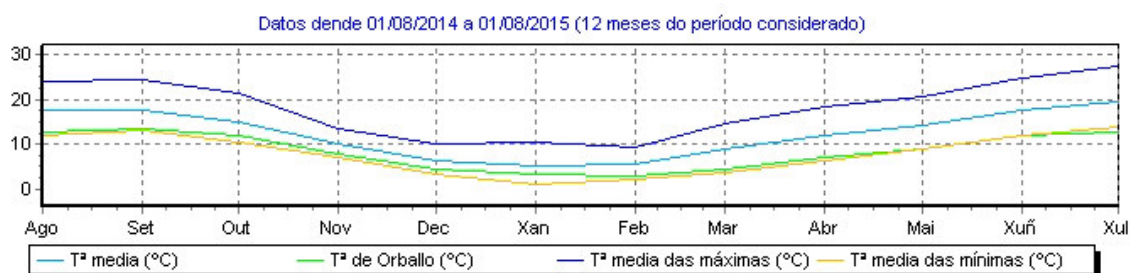
• **LUGO**

Diagrama de precipitaciones



Julio es el mes más seco, con 16,2 L/m². El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año es noviembre con 230,2 L/m².

Diagrama de temperatura



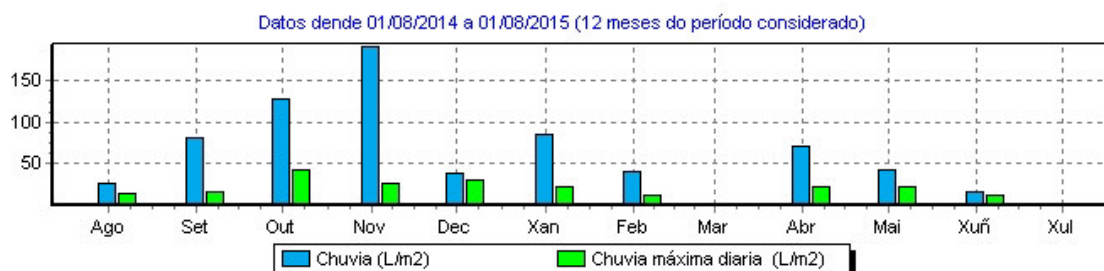
Julio es el mes más caluroso del año con una temperatura máxima media de 25 °C. El mes más frío del año es enero con una temperatura mínima promedio de 2,2 °C.

Tabla climática

Humedad relativa e temperatura	Máxima	Mínima	Media	Unidad
Temperatura de rocío	13,6	3,1	8,6	°C
Temperatura máxima	35,8	13	25	°C
Temperatura media	18,1	5,4	12,4	°C
Temperatura mínima	8,2	-4,5	2,2	°C
Humedad relativa máxima media	96	90	92,9	%
Humedad relativa media	88,1	73,1	79,7	%
Humedad relativa mínima media	74	46	57,2	%
Temperatura media de las máximas	24,8	9,6	18	°C
Temperatura media de las mínimas	13,6	1,4	7,9	°C
Horas de Frío (Base 7 °C)	499,3	0	142,5	h
Días de helada	9	0	2,2	Días

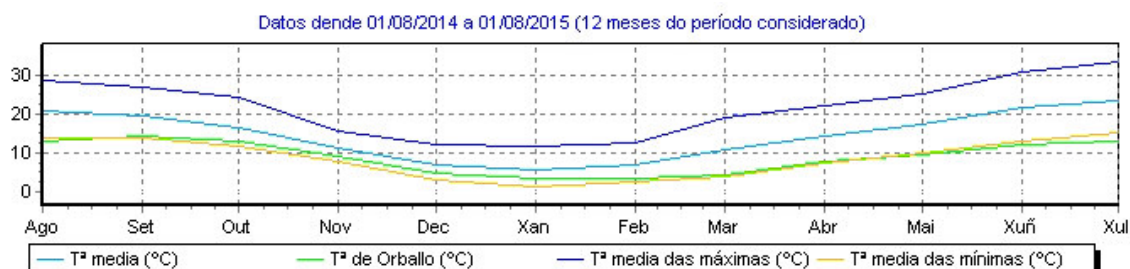
• OURENSE

Diagrama de precipitaciones



Julio y Marzo son los meses más secos con una mínima de 2,4 L/m². El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año es noviembre con 189,2 L/m².

Diagrama de temperatura



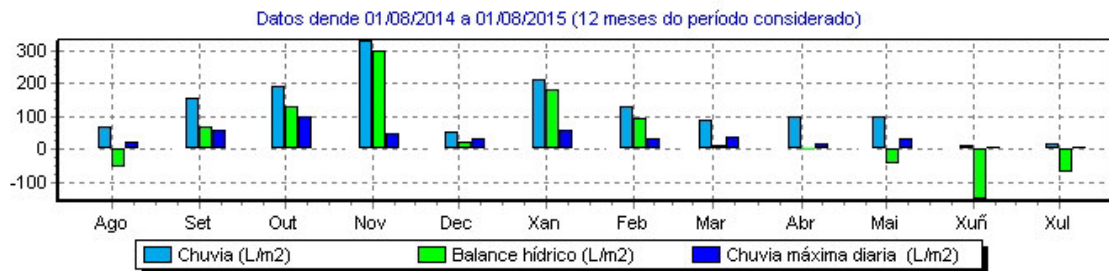
Julio es el mes más caluroso del año con una temperatura máxima media de **28,5 °C**. El mes más frío del año es enero con una temperatura mínima promedio de **3,4 °C**.

Tabla climática

Humedad relativa e temperatura	Máxima	Mínima	Media	Unidad
Temperatura de rocío	14,3	3,5	9,2	°C
Temperatura máxima	40,1	15,8	28,5	°C
Temperatura media	21,9	5,5	14,5	°C
Temperatura mínima	10	-5,2	3,4	°C
Humedad relativa máxima media	98	89	94,1	%
Humedad relativa media	87,8	60,4	74,4	%
Humedad relativa mínima media	67	30	47	%
Temperatura media de las máximas	31,2	12	21,8	°C
Temperatura media de las mínimas	15	1,5	8,7	°C
Horas de Frío (Base 7 °C)	485,5	0	122,8	h
Días de helada	9	0	2,1	Días

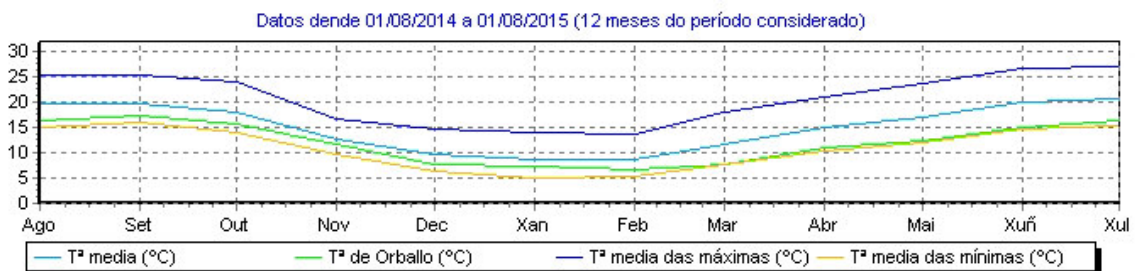
- **PONTEVEDRA**

Diagrama de precipitaciones



Junio es el mes más seco con una mínima de 11,8 L/m2. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año es noviembre con 331,6 L/m2.

Diagrama de temperatura



Julio es el mes más caluroso del año con una temperatura máxima media de 26 °C. El mes más frío del año es enero con una temperatura mínima promedio de 6,1 °C.

Tabla climática

Humedad relativa e temperatura	Máxima	Mínima	Media	Unidad
Temperatura de rocío	17,1	6,5	12	°C
Temperatura máxima	35,1	16,2	26	°C
Temperatura media	20,5	8,6	15	°C
Temperatura mínima	11,8	-0,4	6,1	°C
Humedad relativa máxima media	99	93	96,6	%
Humedad relativa media	92,5	75,8	84,1	%
Humedad relativa mínima media	78	53	64,1	%
Temperatura media de las máximas	26,8	13,5	20,7	°C
Temperatura media de las mínimas	15,8	4,9	10,9	°C
Horas de Frío (Base 7 °C)	239,3	0	60,9	h
Días de helada	2	0	0,2	Días

Una vez expuestos los datos, se observa que los inviernos más fríos se producen en la provincia de **Lugo** con una temperatura mínima media de **2,2 °C** y una temperatura media de las mínimas de **7,9 °C**. Asimismo la temperatura máxima media es de 25 °C es por esto que el emplazamiento elegido para llevar a cabo los casos de estudio es Lugo, cuya zona climática según la Tabla D.1. del CTE-DB-HE1 es **DI**.

5.3. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

En los años 70, la tipología constructiva responde a una normativa técnica obsoleta, con alguna excepción en algunas pocas comunidades autónomas que han avanzado significativamente. No es hasta la aparición de la *NBE-CT-79 (Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas del año 1979)*, cuyo objetivo fundamental perseguía aislar térmicamente los edificios, cuando se empieza a responder a una coyuntura energética y económica muy determinada de los años 70³². Con esta normativa española se exige la colocación de aislamiento térmico, lo que significa que más de 13 millones de viviendas pre-existentes (un 55% del parque edificatorio) no disponen de ningún requisito de ahorro de energía, y conforman edificios con una acusada pobreza energética.

Con la llegada del Código Técnico de la Edificación CTE, en 2006, la solución típica y más común ha sido la conformada por ladrillo de medio pie, cámara de aire con aislamiento térmico incorporado y tabique interior.

³² Artículo *Estrategia de eficiencia energética y ambiental en edificios de viviendas de promoción pública* publicado en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/acexp.html> . Fecha actualización 10/07/2015

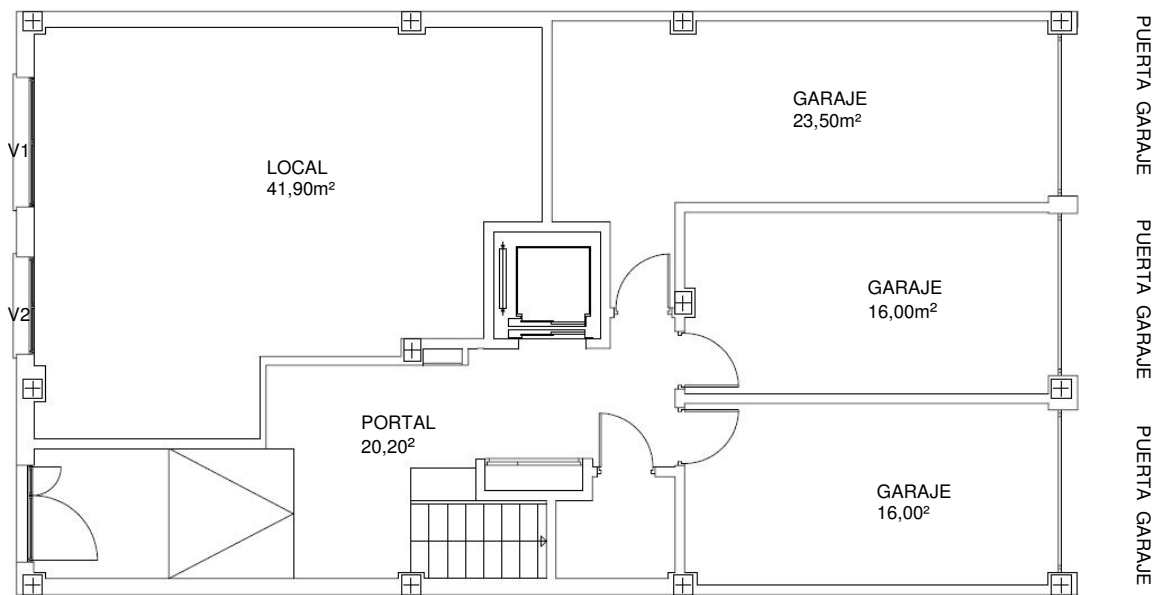
5.4. ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

Se trata de un edificio entre medianeras de 6 viviendas distribuidas en planta primera, segunda y tercera construido en 1970 en Lugo. La planta baja estará destinada a garajes.

La edificación tiene forma rectangular (9,00x16,40m), y el eje longitudinal de ésta es aproximadamente Norte-Sur, las fachadas correspondientes a los ejes Este-Oeste se encuentran entre medianeras con una altura de 12 m. La vivienda está asentada sobre una parcela que cuenta con una superficie aproximada de 200 m², ésta parcela presenta un terreno llano en toda la superficie.

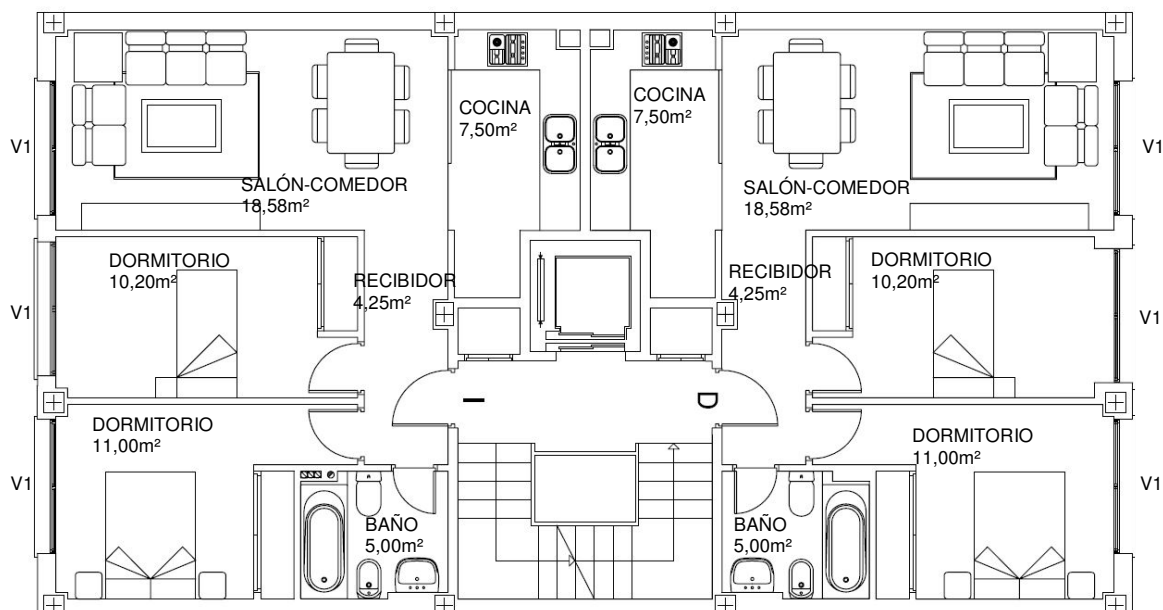
5.4.1. Planimetría y análisis de distribución

Planta Baja



A la zona de entrada se accede mediante la puerta principal que da acceso al portal, encontrándonos enfrente con las escaleras que dan acceso a las plantas superiores así como las puertas que dan acceso a dos de los garajes con los que cuentan 4 de las 6 viviendas. Ligeramente a la izquierda está el ascensor y el resto de puertas que dan acceso a los garajes y trasteros existentes. Enfrente del ascensor está situada una pequeña sala de máquinas.

Planta tipo



Se diferencian tres espacios en cada planta: vivienda Izquierda, vivienda derecha y zona común.

La distribución de las seis viviendas es idéntica, por lo que se pasa a describir solo una:

La puerta de entrada a la vivienda da acceso al recibidor, que se encuentra comunicado hacia la derecha, de una forma directa con el salón-comedor. Éste, a su vez, comunica mediante una puerta con la cocina de la vivienda.

Enfrente a la puerta de entrada nos encontramos con los dos dormitorios con los que cuenta la vivienda y a la izquierda con el único baño existente.

5.4.2. Cuadro de superficies

PLANTA BAJA	
Garajes	62,00 m2
Trasteros	26,40 m2
Portal	28,60 m2
Sala Máquinas	4,10 m2
Total Sup. Útil	121,10 m2
Total Sup. Construída	145,10 m2

PLANTA TIPO

<i>Vivienda Izq</i>	
Cocina	7,50 m ²
Salón comedor	18,58 m ²
Dormitorio 1	10,20 m ²
Cuarto de baño	5,00 m ²
Dormitorio 2	11,00 m ²
Armarios	1,65 m ²
Recibidor	4,25 m ²

Sup. Útil	58,18 m ²
-----------	----------------------

<i>Vivienda Dch</i>	
Cocina	7,50 m ²
Salón comedor	18,58 m ²
Dormitorio 1	10,20 m ²
Cuarto de baño	5,00 m ²
Dormitorio 2	11,00 m ²
Armarios	1,65 m ²
Recibidor	4,25 m ²

Sup. Útil	58,18 m ²
-----------	----------------------

Total Sup. Útil viviendas	349,11 m ²
Total Sup. Construída	442,85 m ²

5.4.3. Definición de elementos constructivos

- ✓ *Cerramiento exterior (de exterior a interior):*
 - Ladrillo cara vista (e=12cm)
 - Cámara de aire (e=8cm)
 - Tabicón de ladrillo hueco doble (e=8cm)
 - Enlucido de yeso (e=1cm)
 - Pintura

- ✓ *Losa de cimentación (de interior a exterior):*
 - Baldosa de gres (e=1,5cm)

- Capa de mortero de nivelación (e=10cm)
- Losa de hormigón armado (e=50cm)

- ✓ *Forjado (de arriba a abajo):*
 - Baldosa de gres (e=1,5cm)
 - Mortero de nivelación (e=5cm)
 - Forjado unidireccional de bovedillas cerámicas (25+5)
 - Enlucido de yeso
 - Pintura

- ✓ *Forjado – Bajo cubierta no habitable (de arriba a abajo):*
 - Forjado unidireccional de bovedillas cerámicas (25+5)
 - Enlucido de yeso

- ✓ *Particiones interiores*
 - Guarnecido y enlucido de yeso
 - Tabicón de ladrillo hueco doble (e=8cm)
 - Guarnecido y enlucido de yeso

- ✓ *Cubierta (de arriba a abajo):*
 - Teja
 - Capa de compresión (e=5cm)
 - Tablero cerámico (e=5cm)
 - Tabiques palomeros

- ✓ *Carpintería exterior:*
 - Vidrio sencillo
 - Marco de aluminio gris. Sin rotura de puente térmico.

Dimensiones de huecos:

Fachada principal y posterior:

Alto x ancho

- 19 Ventanas de 1,25x2,00
- 1 Puerta portal 2,42x1,50
- 3 Puerta garaje 2,25x2,50
- 1 Ventanas de 1,25x1,50

5.4.4. Valores característicos de la envolvente

La tabla que sigue a continuación ofrece los valores característicos de los componentes del edificio en estado actual, obtenidos a partir de la norma UNE-EN 10456:2012.

ESTADO ACTUAL					
ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/mK)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² K/W)	TRANSMITANCIA TÉRMICA [U] (W/m ² K)
FACHADA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,040	1,74
	½ pie LM cara vista 40mm<G<50	0,123	1,020	0,120	
	CA ligeramente ventilada vertical 5cm	0,050	-	0,090	
	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0,080	0,469	0,160	
	Enlucido de yeso d<1000	0,010	0,40	0,034	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,130	
MEDIANERA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,130	1,62
	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0,070	0,469	0,150	
	CA ligeramente ventilada vertical 5cm	0,050	-	0,090	
	Tabique de LH sencillo [40mm<E<60mm]	0,050	0,556	0,090	
	Mortero de cemento para albañilería	0,020	0,700	0,028	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,130	
PARTICIÓN INTERIOR	Resistencia sup. exterior	-	-	0,130	1,92
	Enlucido de yeso d<1000	0,020	0,40	0,050	
	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0,080	0,469	0,160	

**ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS DEMANDAS
ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN**

TRABAJO FIN DE MÁSTER TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE 2014-2015

	Enlucido de yeso d<1000	0,020	0,400	0,050	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,130	
SOLERA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,040	1,52
	Baldosa de gres	0,015	2,300	6,52x10e-3	
	Mortero de cemento para albañilería	0,100	0,700	0,143	
	Losa de hormigón d=2000 y canto 500mm	0,500	1,667	0,300	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,170	
FORJADOS	Resistencia sup. exterior	-	-	0,100	1,65
	Baldosa de gres	0,015	2,30	6,52x10e-3	
	Mortero de cemento para albañilería	0,050	0,70	0,071	
	FU entrevigado cerámico. Canto 250mm	0,250	0,893	0,280	
	Enlucido de yeso d<1000	0,020	0,400	0,050	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,10	
FORJADO EN CONTACTO CON ESPACIO NO HABITABLE	Resistencia sup. exterior	-	-	0,040	1,96
	FU entrevigado cerámico. Canto 300mm	0,300	0,937	0,320	
	Enlucido de yeso d<1000	0,020	0,400	0,050	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,100	
CUBIERTA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,040	2,05
	Teja de arcilla cocida	0,020	1	0,020	

FU entrevigado cerámico. Canto 250 mm	0,250	0,893	0,280
Enlucido de yeso d<1000	0,020	0,400	0,050
Resistencia sup. interior	-	-	0,100

ELEMENTO	TIPO DE ACRISTALAMIENTO	MARCO	%MARCO SOBRE HUECO	PERMEABILIDAD m ³ /hm ² a 100Pa	FACTOR SOLAR	U W/m ² K
V1-V2	Vidrio sencillo 4 mm	Aluminio sin RPT	30	50,00	0,85	5,70
PUERTA	Vidrio sencillo 6 mm	Aluminio sin RPT	80	60,00	0,85	5,70

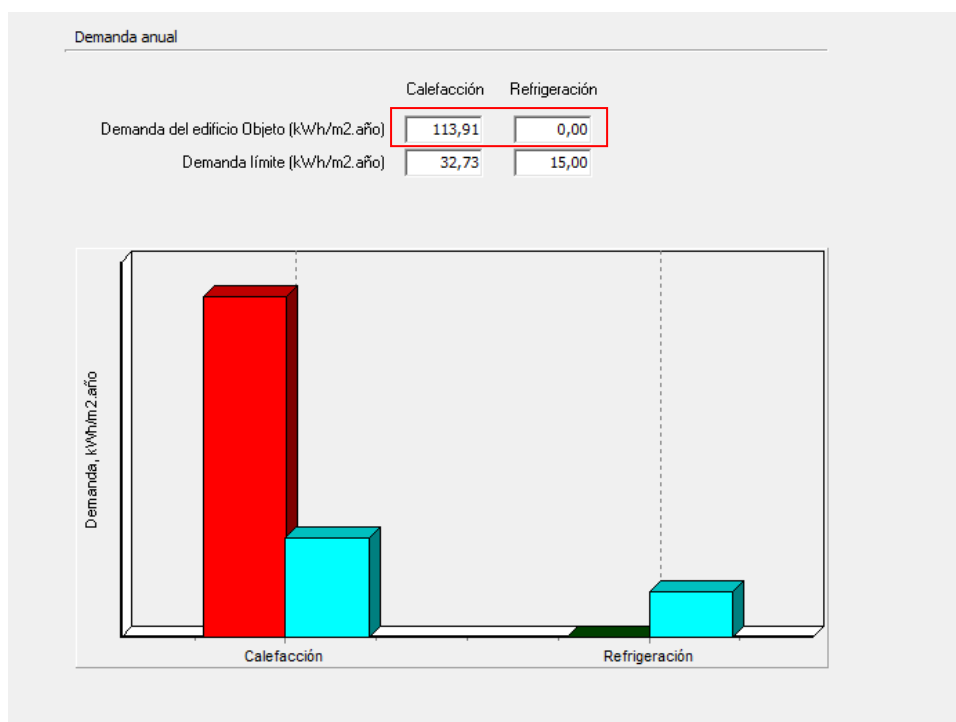
Para el cálculo de los valores característicos de los puentes térmicos se ha empleado el programa Therm, cuyos cálculos y gráficos se muestran en el Anexo 10.1.1. A continuación se muestra una tabla resumen con los datos obtenidos:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ΨEXT (W/mK)	ΨINT (W/mK)
EA_EE	Esquina exterior	-0,868	0,056
EA_FF	Frente Forjado	-0,277	1,291
EA_CF	Cubierta	-1,075	0,608

5.4.5. Resultados de las demandas energéticas obtenidas en el Estado Actual

La comprobación de la demanda energética exigida por el CTE DB HE-1 se realizará mediante el programa oficial LIDER, el cual compara la demanda energética del edificio objeto con la de un edificio de referencia. Esta herramienta no ofrece soluciones de mejora en la demanda energética pero sí que nos permite realizar un detallado análisis de la misma.

LIDER nos ofrece unos resultados de partida muy útiles para empezar a plantear soluciones de mejora en la envolvente. Así pues, una vez introducidos todos los datos de nuestro edificio y realizar el modelado del mismo procedemos al cálculo obteniendo el siguiente resultado:



Resultados obtenidos en la simulación energética del caso 1 con LIDER (estado actual)

Como se aprecia en la imagen, los valores límite de las demandas energéticas estipuladas en el DB HE-1 son:

- Demanda límite calefacción (Kwh/m²año)=32,73
- Demanda límite refrigeración (Kwh/m²año)=15,00

El edificio objeto no cumpliría con lo establecido en el CTE puesto que su demanda en calefacción es 3,5 veces la demanda límite. Por otro lado el edificio apenas tiene demanda de refrigeración cumpliendo así con lo estipulado en el DB HE1.

El programa nos permite obtener datos más concretos sobre los distintos espacios, tanto en calefacción como en refrigeración. En este caso, nos centraremos en la demanda de calefacción puesto que no tenemos demanda de refrigeración para los meses más cálidos.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Calefacción kW/m ² año
P02_E01	58.40	1	105.53
P02_E03	57.97	1	142.58
P03_E01	58.40	1	55.91
P03_E03	57.97	1	85.26
P04_E01	58.40	1	132.28
P04_E03	57.97	1	162.26

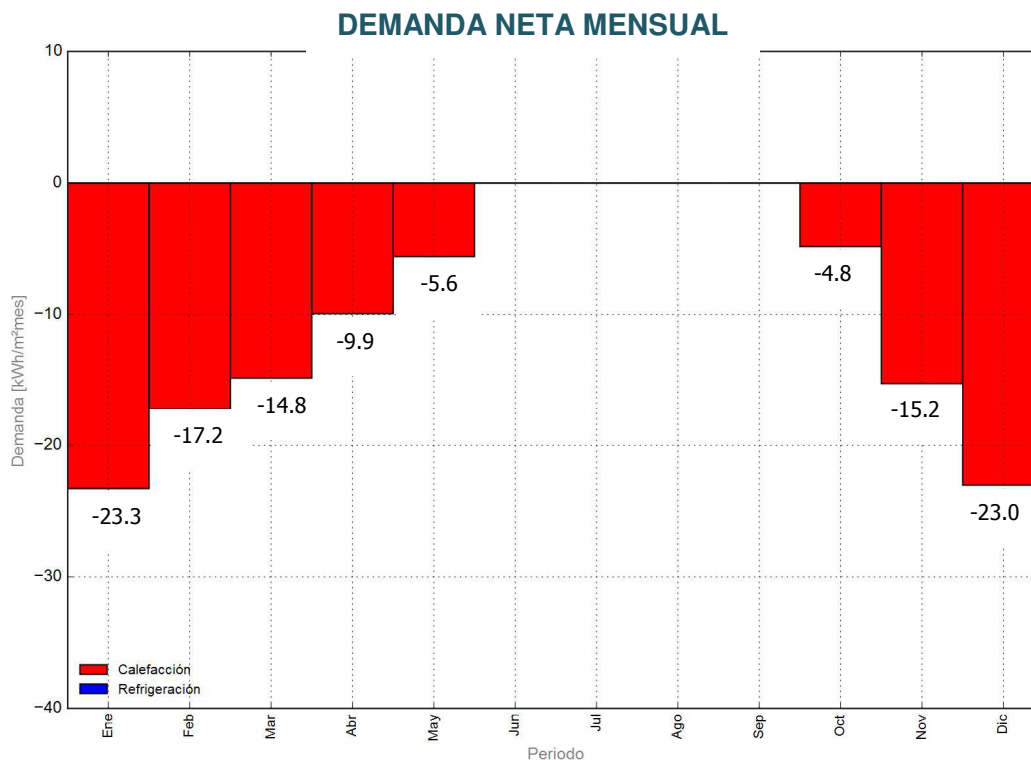
El espacio P04_E03 es el que más demanda tiene por m² de superficie para calefacción.

LIDER ofrece otros datos ocultos que debemos buscar en la carpeta que crea automáticamente el programa y que se denomina "resultados". En ella, se crean unos archivos *.res que contienen información de gran importancia para la mejora de la demanda energética del edificio y que se desglosa a continuación:

DEMANDA DEL EDIFICIO

Se obtienen las demandas de calefacción y refrigeración anuales, además de facilitarnos los resultados por meses:

Edificio objeto		349,11m ²	
Calefacción anual	-113,90 Kwh/m ² año	Calefacción anual	-39768,18 Kwh/año
Refrigeración anual	0,0 Kwh/m ² año	Refrigeración anual	0,0 Kwh/año



Los valores de demanda energética vienen expresados en kWh/(m² año) o kWh/(m² mes) obteniéndose los resultados en kWh/año o kWh/mes al multiplicar por la superficie correspondiente, siendo estos últimos más útiles a la hora de plantear soluciones para las mejoras de las demandas.

En el gráfico anterior se puede apreciar de forma clara y sencilla la evolución de la demanda a lo largo del año, así pues se observa que los meses en los que la demanda de calefacción es nula son de mediados de mayo a mediados de septiembre, siendo los de más demanda de mediados de noviembre a mediados de enero.

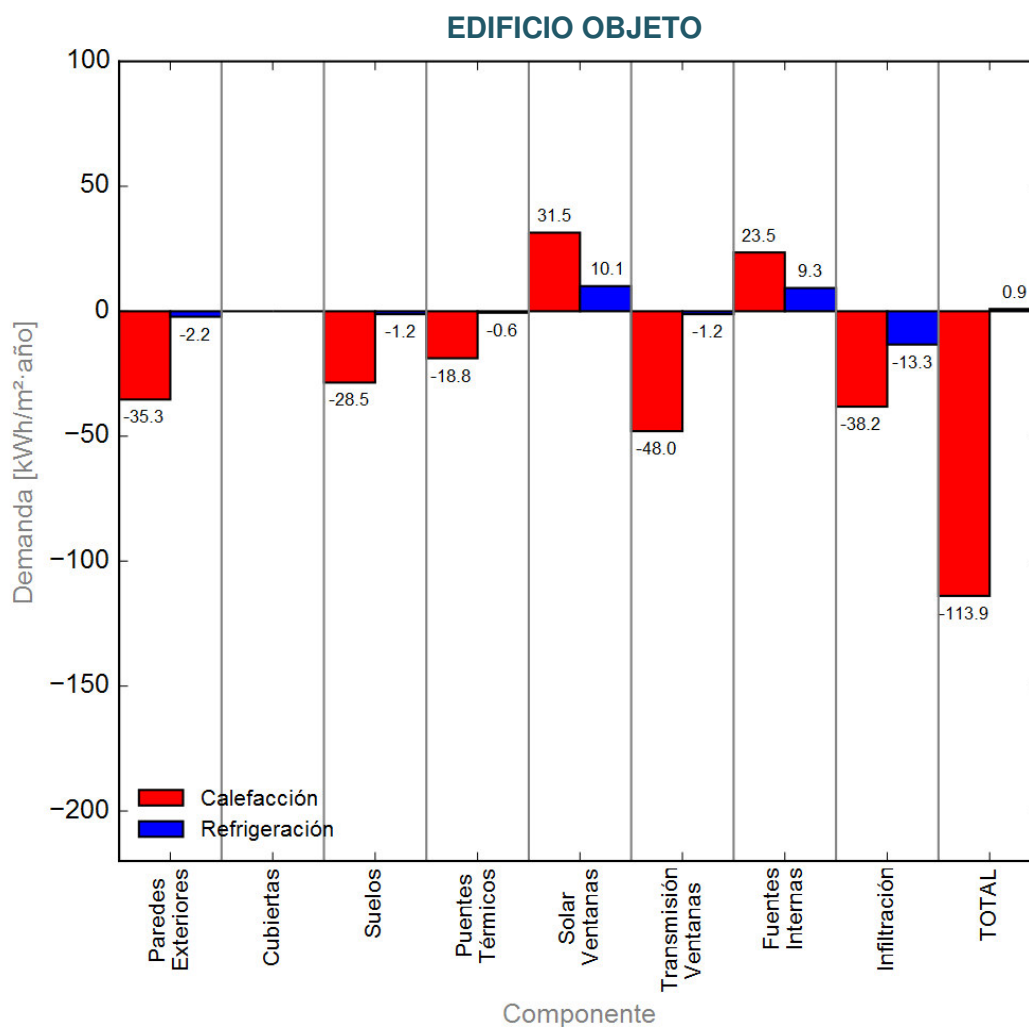
DEMANDA ANUAL POR ESPACIOS

Los resultados obtenidos por espacios nos permiten determinar cuál es el más desfavorable y así poder hallar una mejora de manera más concreta. Como se aprecia en el siguiente cuadro, el espacio que demanda más calefacción es el P04_E03 el cual corresponde a la vivienda de la planta 3ª cuya fachada principal está orientada hacia el Norte.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Calefacción Kwh/m ² año	Calefacción Kwh/año
P02_E01	58,4	1	105,53	6162,95
P02_E03	57,97	1	142,58	8265,36
P03_E01	58,4	1	55,91	3265,14
P03_E03	57,97	1	85,26	4942,52
P04_E01	58,4	1	132,28	7725,15
P04_E03	57,97	1	162,26	9406,21
Total	349,11			

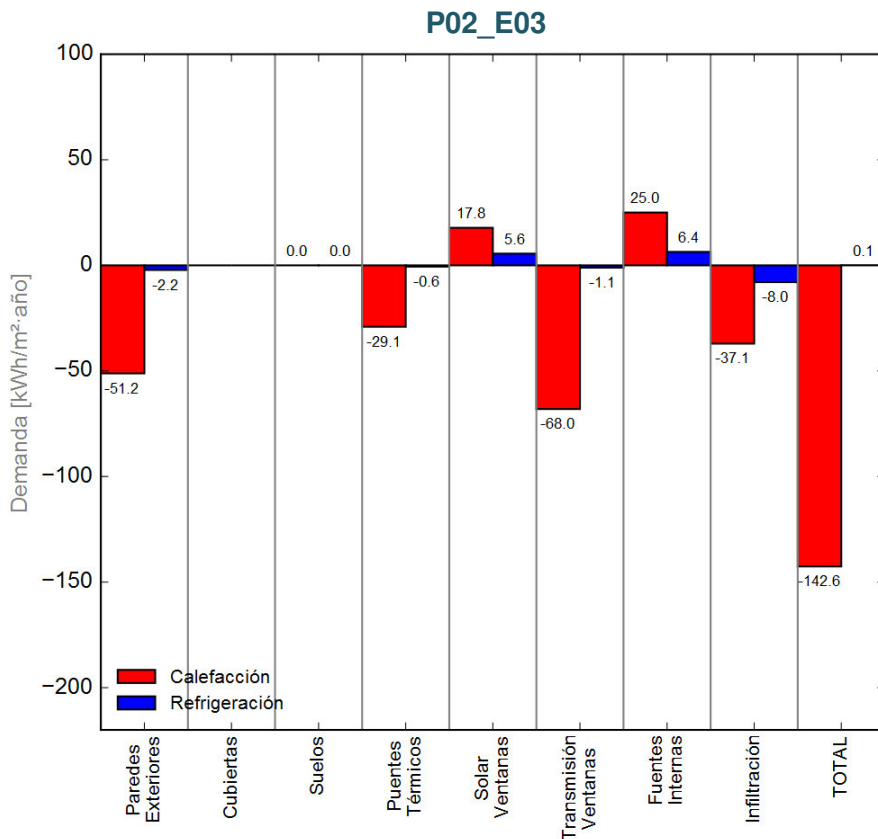
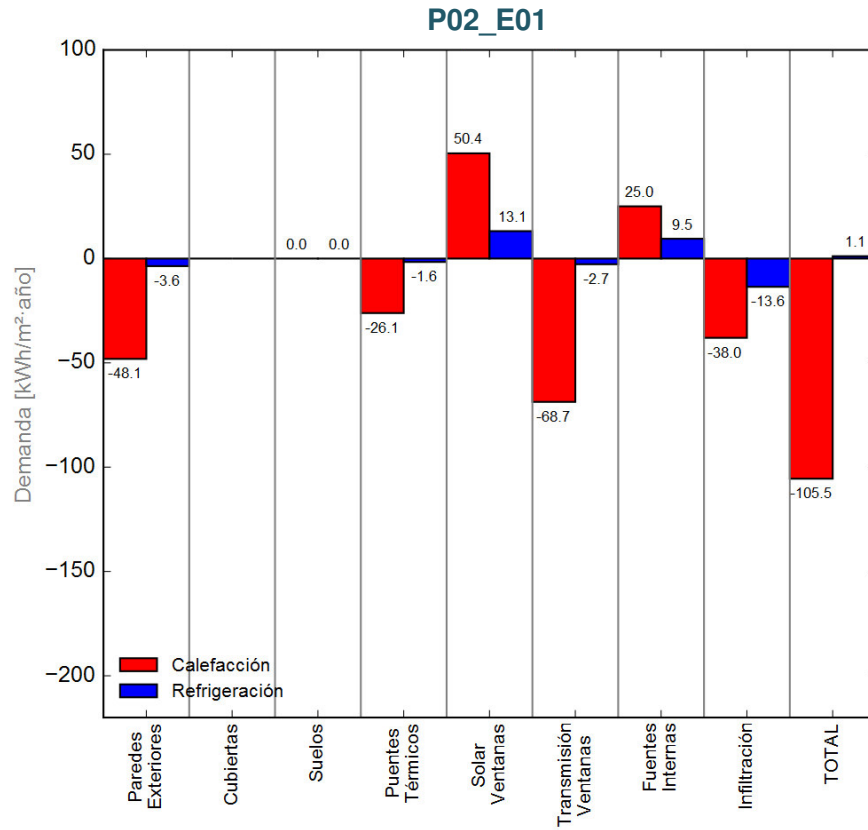
DEMANDA POR COMPONENTES

Otros de los valores que el programa nos permite analizar son las demandas energéticas de los elementos constructivos. Estos datos son de gran importancia ya que nos dirá que peso tiene cada componente en la demanda total del edificio y así poder actuar sobre él.



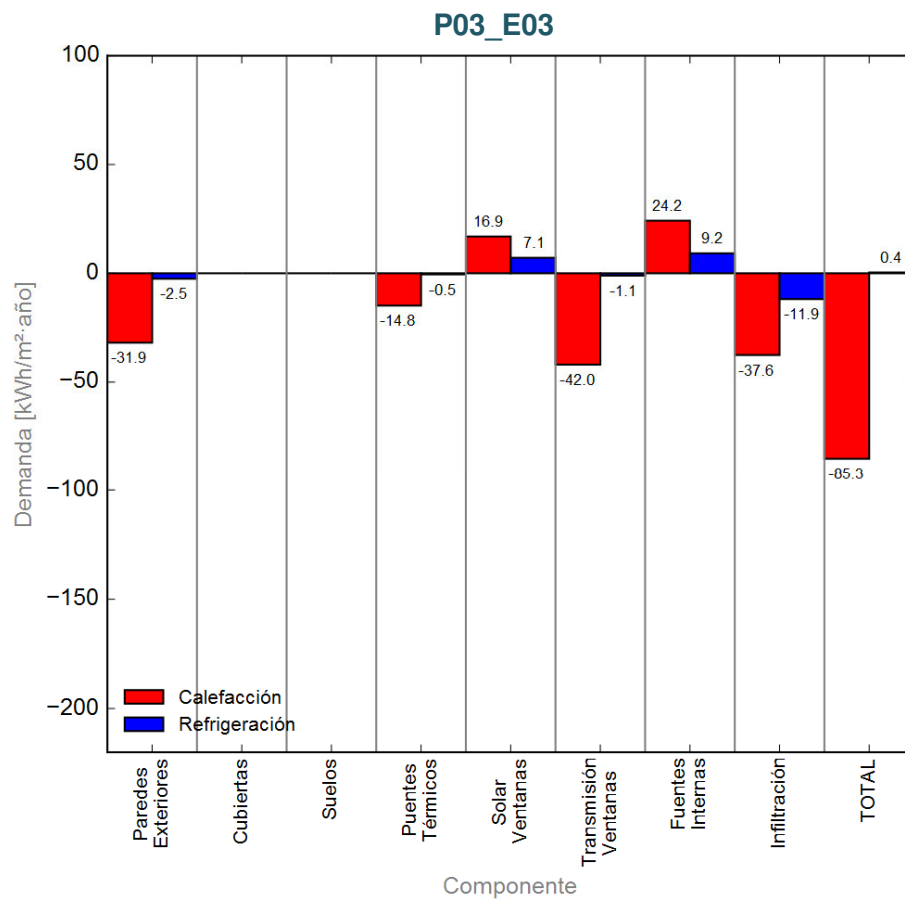
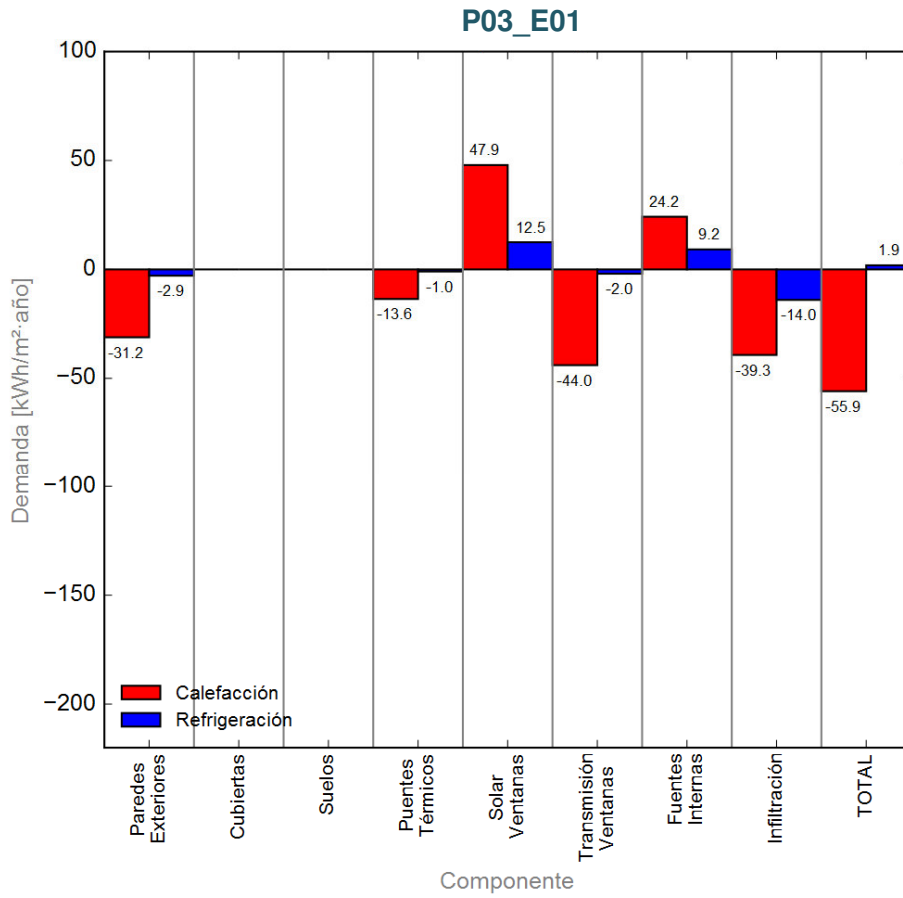
El gráfico anterior representa los resultados del conjunto del edificio, así pues, se puede observar que las mayores pérdidas de calor se producen en la transmisión de las ventanas (-48kWh/m²·año) seguido por las infiltraciones y los cerramientos exteriores.

Para proponer medidas de mejora más concretas y ajustadas a cada caso realizaremos los gráficos por espacios con los datos que nos ofrece LIDER:



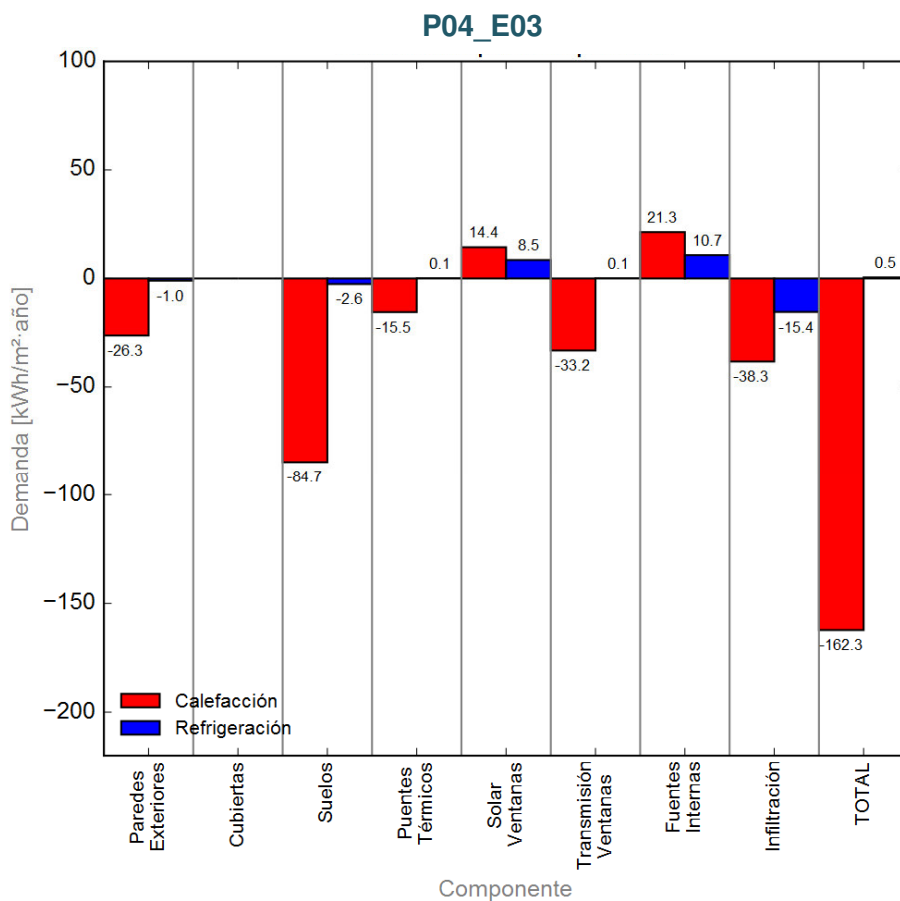
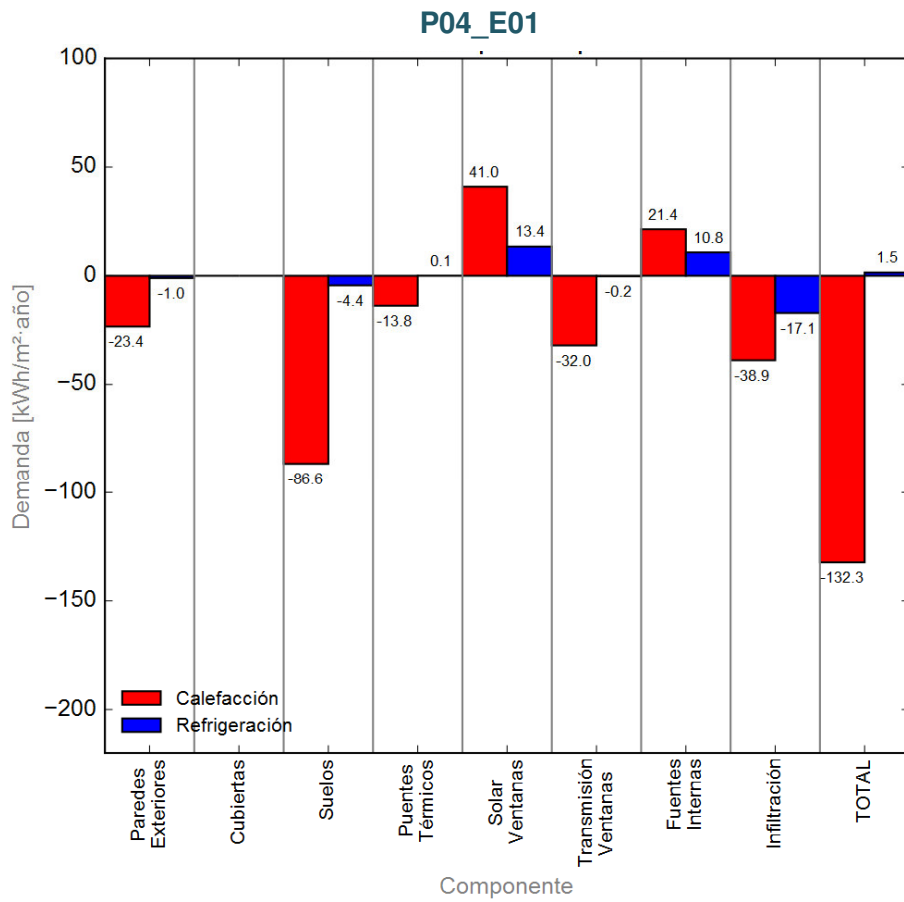
ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS DEMANDAS ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE 2014-2015



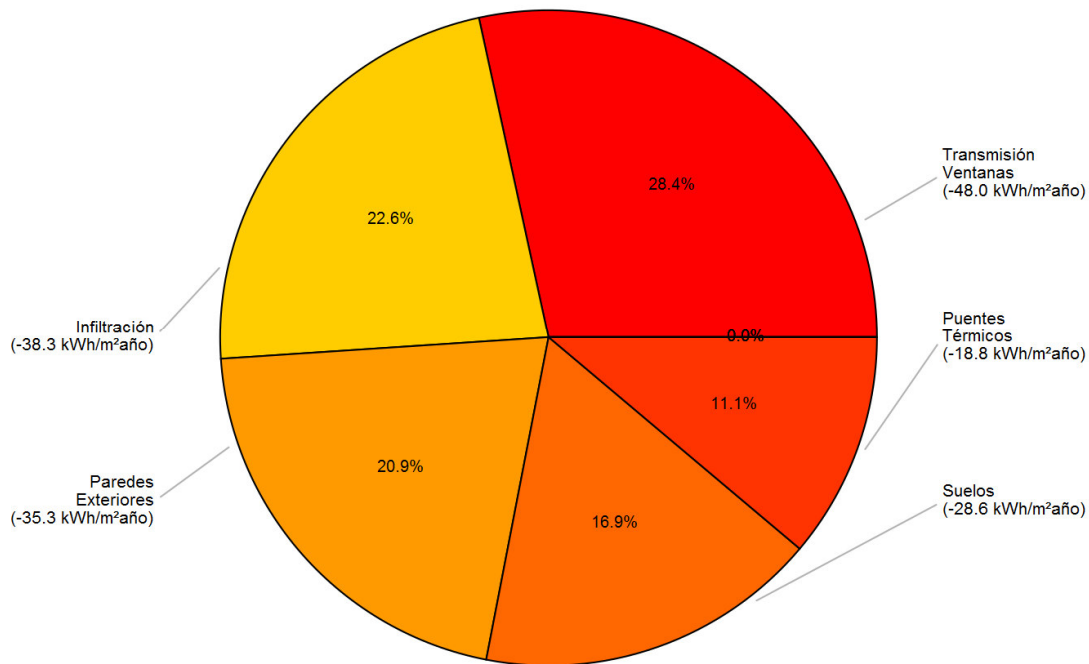
ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS DEMANDAS ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE 2014-2015



Como se puede observar en los gráficos anteriores, los componentes que generan más pérdidas son cerramiento exterior/transmitancia /infiltraciones. En la última planta (P04) observamos que las mayores pérdidas se producen a través del forjado en contacto con el bajo cubierta no habitable, espacio cuya cubierta carece totalmente de asilamiento. El resto de conceptos se mantienen muy parejos y algunos de valor muy pequeño, por lo que en un principio no se plantearía aplicar medidas de mejora sobre dichos conceptos. Cabe destacar la contribución de energía a través de ventanas y fuentes internas, siendo éstas más elevadas en las viviendas orientadas al Sur (P02_E01, P03_E01, P04_E01).

A modo de resumen, el siguiente gráfico nos informa de las demandas energéticas expresadas en % que recaen sobre cada uno de los elementos constructivos:



Como se puede observar en el gráfico, casi la mitad de las pérdidas térmicas (un **49,30 %**) se producen a través de ventanas y de cerramientos exteriores. Los intercambios térmicos por conducción y convección se producen a través del vidrio, siendo determinante las carpinterías pues son las que establecen las infiltraciones de aire (**22,6 %** de pérdidas).

Con un **16,90%** de pérdidas caloríficas están los "suelos". Esta denominación se refiere a los forjados que están en contacto con un espacio no habitable y por lo tanto no acondicionado como son el techo de planta baja (suelo de P01) ya que dicha planta está destinada a garajes y

el techo de P03 en contacto con el bajo cubierta no habitable. Ambos "suelos" carecen de aislamiento térmico lo que hace que las demandas de estos componentes sean elevadas.

Con un porcentaje inferior (**11,10%**) pero no menos importante, están las pérdidas caloríficas por puentes térmicos (PT). Los PT se convierten en partes vulnerables y sensibles del edificio al disminuir la resistencia térmica con respecto al resto del cerramiento, provocando en épocas frías la aparición de condensaciones superficiales entre otros inconvenientes.

Es de suma importancia actuar sobre los PT, ya que si las propuestas de mejora que se van a proponer a lo largo de este trabajo obviarán este punto, no sólo no mejoraríamos los resultados de los PT sino que empeorarían, ya que cuanto más aislado esté el resto del cerramiento mayor serán las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos puesto que se está produciendo un aumento del flujo de calor entre el interior y el exterior a través de estos puntos.

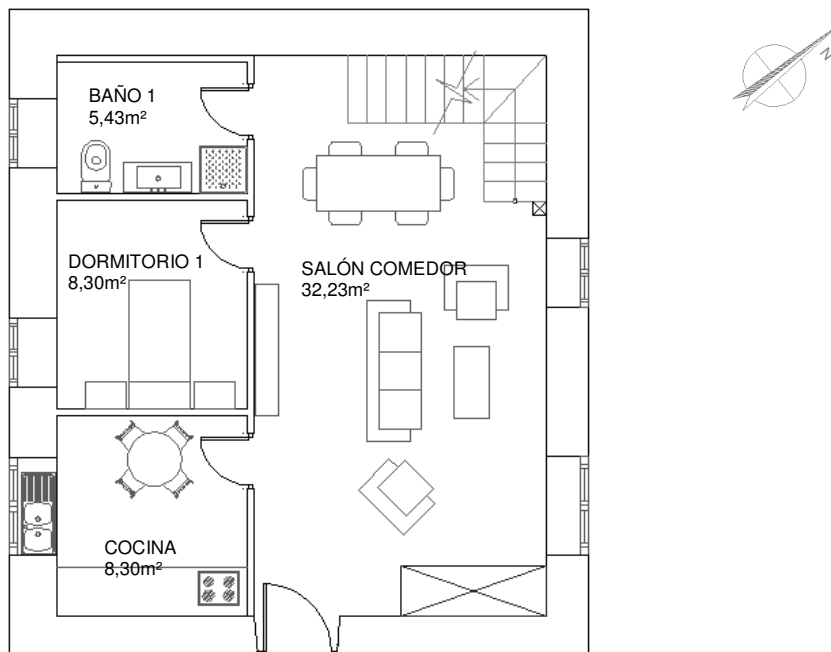
5.5. ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

Se trata de una vivienda unifamiliar aislada compuesta por planta baja, planta primera y bajo cubierta. La edificación fue construida en 1970 en Lugo.

El inmueble tiene forma paralelepípeda (8,50x9,50m) y 6,00 m de altura, siendo la orientación del eje perpendicular a la fachada principal Noroeste.

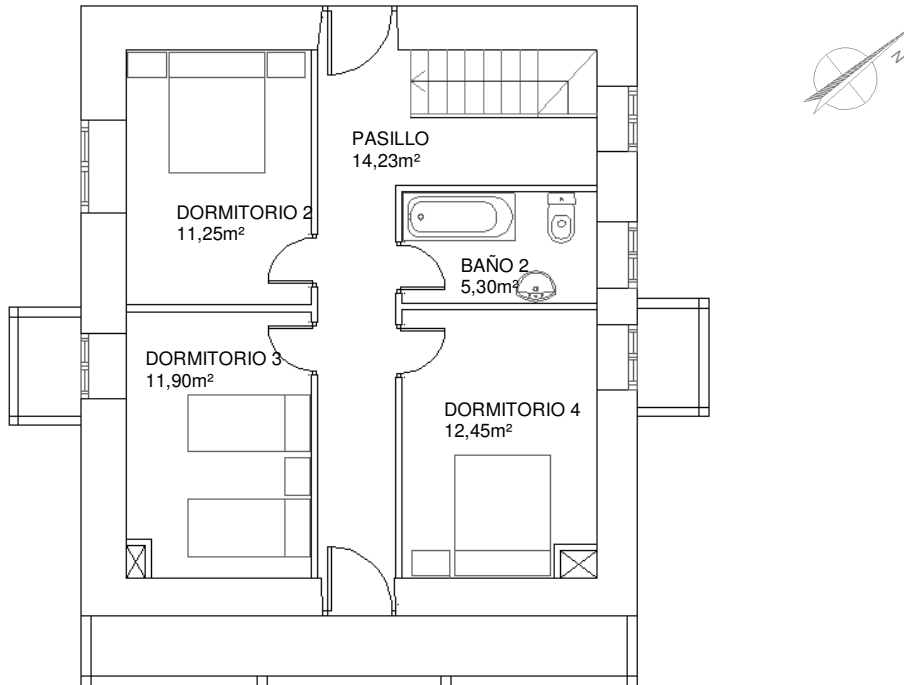
5.5.1. Planimetría y análisis de distribución

Planta Baja



A la zona de entrada se accede mediante la puerta principal en PB que da acceso al salón comedor, encontrándonos de frente con las escaleras interiores de dan acceso a la P1. Hacia la izquierda de la entrada nos encontramos con las tres dependencias de esta planta: Cocina, dormitorio y baño.

Planta Alta



A planta primera de accede desde las escaleras interiores y también desde escaleras exteriores.

5.5.2. Cuadro de superficies

PLANTA BAJA

Salón	32,23 m2
Cocina	8,30 m2
Dormitorio 1	8,30 m2
Baño 1	5,43 m2

Total Sup. Útil	54,26 m2
Total Sup. Construída	81,00 m2

PLANTA ALTA

Dormitorio 2	11,25 m ²
Dormitorio 3	11,90 m ²
Balcón 1	2,10 m ²
Dormitorio 4	12,45 m ²
Balcón 2	2,10 m ²
Baño 2	5,30 m ²
Balcón 3	9,55 m ²
Pasillo	14,23 m ²

Total Sup. Útil	68,88 m ²
Total Sup. Construída	96,00 m ²

Total Sup. Útil	123,14 m ²
Total Sup. Construída	177,00 m ²

5.5.3. Definición de elementos constructivos

- ✓ *Cerramiento exterior (de exterior a interior):*
 - Muro de mampostería (e=60cm)

- ✓ *Losa de cimentación (de interior a exterior):*
 - Baldosa de gres (e=1,5cm)
 - Capa de mortero de nivelación (e=10cm)
 - Losa de hormigón armado (e=50cm)

- ✓ *Forjado (de arriba a abajo):*
 - Pavimento de madera (e=1,5cm)
 - Forjado de madera

- ✓ *Particiones interiores*
 - Guarnecido y enlucido de yeso
 - Tabicón de ladrillo hueco doble (e=8cm)
 - Guarnecido y enlucido de yeso

✓ *Cubierta (de arriba a abajo):*

- Pizarra
- Estructura de madera

✓ *Carpintería exterior:*

- Vidrio sencillo
- Marco de madera

Dimensiones de huecos:

Alto x ancho

V1: 1,20x1,20

V2: 1,20x0,80

V3: 0,40x0,80

Puertas: 2,10x1,20

5.5.4. Valores característicos de la envolvente

La tabla que sigue a continuación ofrece los valores característicos de los componentes de la vivienda en estado actual, obtenidos a partir de la norma UNE-EN 10456:2012.

ESTADO ACTUAL					
ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/mK)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² K/W)	TRANSMITANCIA TÉRMICA [U] (W/m ² K)
FACHADA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,04	2,6
	Muro granito [2500<d<2700]	0,6	2,8	0,214	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,13	
PARTICIÓN INTERIOR	Resistencia sup. exterior	-	-	0,13	1,92
	Enlucido de yeso d<1000	0,02	0,4	0,05	
	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0,08	0,469	0,16	

**ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS DEMANDAS
ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN**

TRABAJO FIN DE MÁSTER TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE 2014-2015

	Enlucido de yeso d<1000	0,02	0,4	0,05	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,13	
SOLERA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,04	1,52
	Baldosa de gres	0,015	2,3	6,52x10e-3	
	Mortero de cemento para albañilería	0,1	0,7	0,143	
	Losa de hormigón d=2000 y canto 500mm	0,5	1,667	0,3	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,17	
FORJADOS	Resistencia sup. exterior	-	-	0,1	1,16
	Tablero contrachapado 250 <d<350	0,025	0,11	0,227	
	Entablado de madera 750<d<870	0,1	0,23	0,435	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,1	
FORJADO EN CONTACTO CON ESPACIO NO HABITABLE	Resistencia sup. exterior	-	-	0,04	1,25
	Tablero contrachapado 250 <d<350	0,025	0,11	0,227	
	Entablado de madera 750<d<870	0,1	0,23	0,435	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,1	
CUBIERTA	Resistencia sup. exterior	-	-	0,04	2,75
	Pizarra	0,015	2,2	6,82x10e-3	
	Entablado de madera conífera d>610	0,05	0,23	0,217	
	Resistencia sup. interior	-	-	0,1	

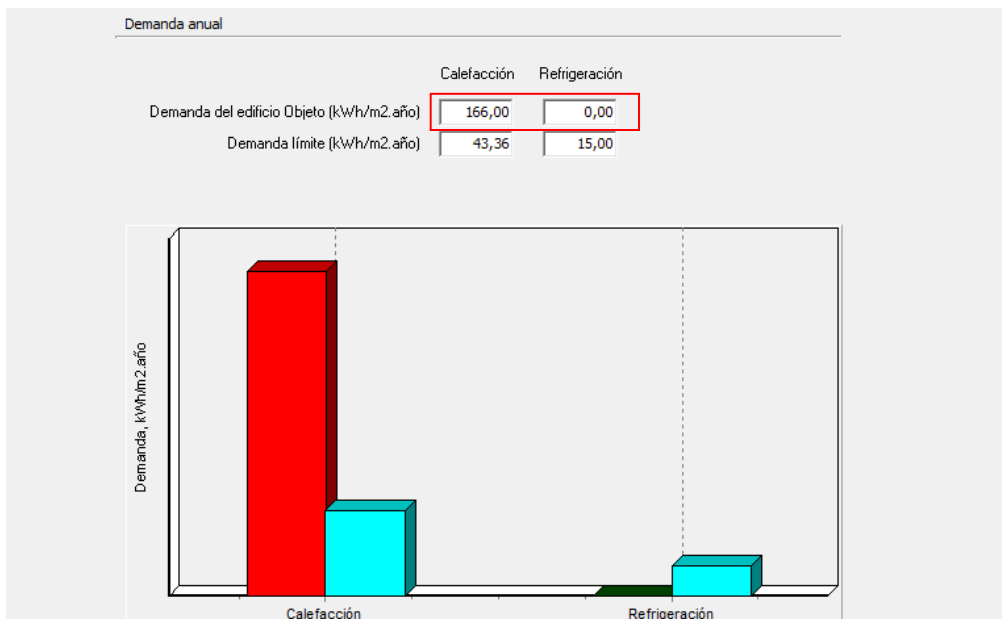
ELEMENTO	TIPO DE ACRISTALAMIENTO	MARCO	%MARCO SOBRE HUECO	PERMEABILIDAD m ³ /hm ² a 100Pa	FACTOR SOLAR	U marco W/m ² K	U vidrio W/m ² K
V1-V2-V3	Vidrio sencillo 4 mm	Madera	35	50,00	0,85	2,20	5,70
PUERTA	-	Madera	100	60,00	0,85	2,20	5,70

Para el cálculo de los valores característicos de los puentes térmicos se ha empleado el programa Therm. A continuación se muestra una tabla resumen con los datos obtenidos:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ΨEXT (W/mK)	ΨINT (W/mK)
EA_SO	Solera	0,753	1,074
EA_CF	Cubierta	-1,754	0,374
EA_EE	Esquina exterior	0,053	0,912

5.5.5. Resultados de las demandas energéticas obtenidas en el Estado Actual

A continuación, una vez realizada la simulación energética del estado actual, se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de demandas de la vivienda unifamiliar aislada realizado por LIDER.



Resultados obtenidos en la simulación energética del caso 2 con LIDER (estado actual)

Como se aprecia en la imagen, los valores límite de las demandas energéticas estipuladas en el DB HE-1 son:

- Demanda límite calefacción (Kwh/m²año)=43,36
- Demanda límite refrigeración (Kwh/m²año)=15,00

El edificio objeto no cumpliría con lo establecido en el CTE puesto que su demanda en calefacción es 3,8 veces la demanda límite. Por otro lado el edificio apenas tiene demanda de refrigeración cumpliendo así con lo estipulado en el DB HE1.

El programa nos permite obtener datos más concretos sobre los distintos espacios, tanto en calefacción como en refrigeración. En este caso, nos centraremos más en la demanda de calefacción puesto que es la que más nos interesa disminuir.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Calefacción kW/m ² año
P01_E01	61,12	1	-171,81
P02_E01	61,12	1	-161,24

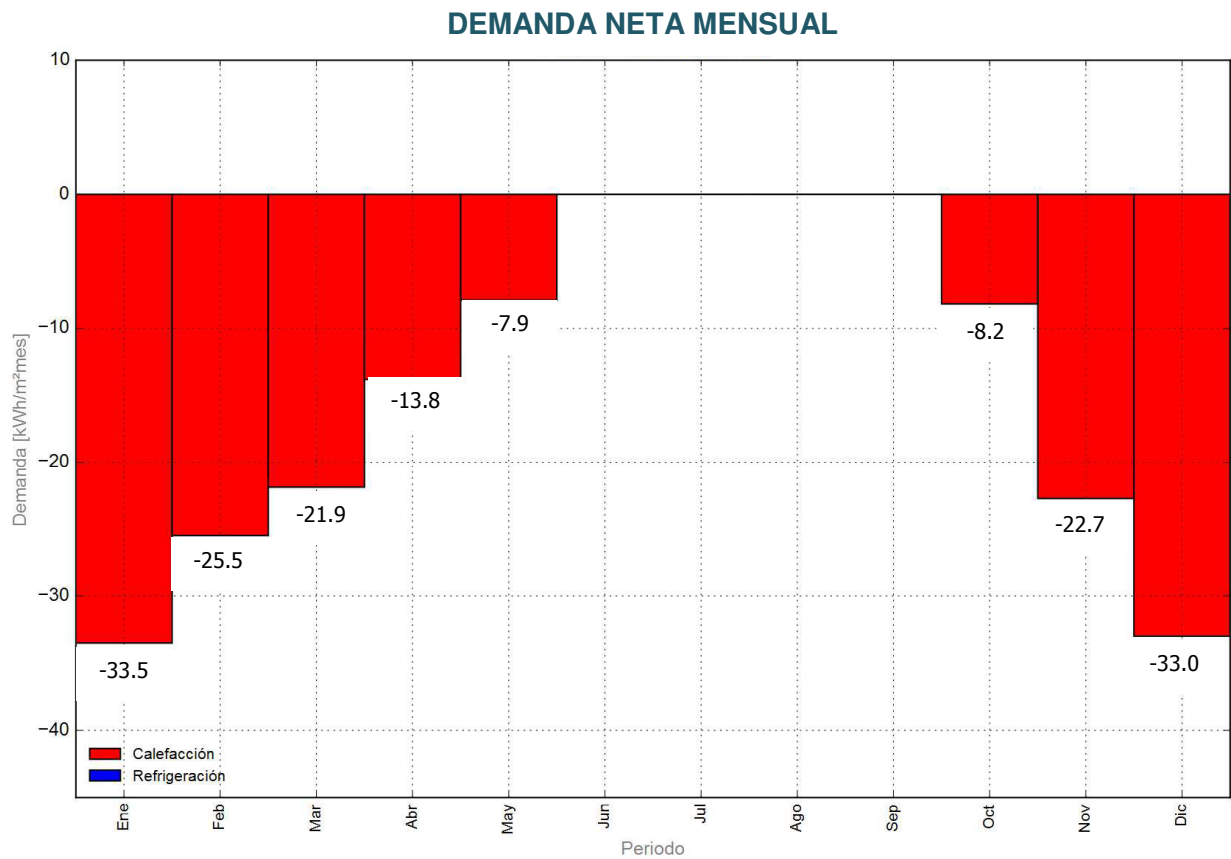
El espacio P01_E01 es el que más demanda tiene por m² de superficie para calefacción.

Como ya vimos en el caso de estudio 1, LIDER ofrece otros datos ocultos que debemos buscar en la carpeta que crea automáticamente el programa y que se denomina "resultados". En ella, se crean unos archivos *.res que contienen información de gran importancia para la mejora de la demanda energética del edificio y que se desglosa a continuación:

DEMANDA DEL EDIFICIO

Edificio objeto		122,24 m ²	
Calefacción anual	-166,50 Kwh/m ² año	Calefacción anual	-20352,96 Kwh/año
Refrigeración anual	0,0 Kwh/m ² año	Refrigeración anual	0,0 Kwh/año

Los valores de demanda energética vienen expresados en kWh/(m² año) o kWh/(m² mes) obteniéndose los resultados en kWh/año o kWh/mes al multiplicar por la superficie correspondiente, siendo estos últimos más útiles a la hora de plantear soluciones para las mejoras de las demandas.



En el gráfico anterior se puede apreciar de forma clara y sencilla la evolución de la demanda a lo largo del año, así pues se observa que los meses en los que la demanda de calefacción es nula son de mediados de mayo a mediados de septiembre, siendo los de más demanda de mediados de noviembre a mediados de enero al igual que en el caso de estudio 1.

DEMANDA ANUAL POR ESPACIOS

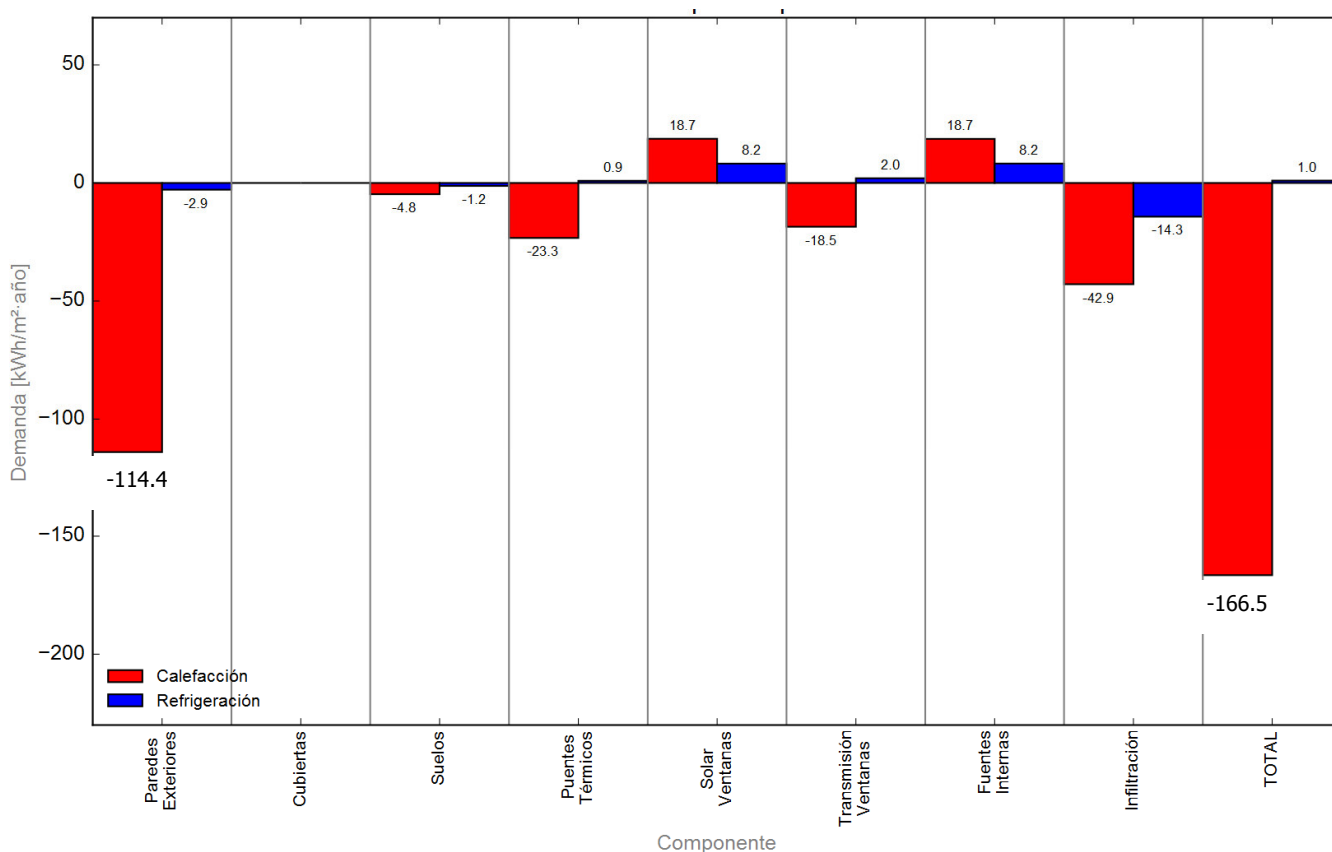
Los resultados obtenidos por espacios nos permiten determinar cuál es el más desfavorable y así poder hallar una mejora de manera más concreta. Como se aprecia en el siguiente cuadro, el espacio que demanda más calefacción es el P01_E01 correspondiente a la planta baja que está en contacto con el terreno.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Calefacción Kwh/m ² año	Calefacción Kwh/año
P01_E01	61,12	1	-171,81	-10501,03
P02_E01	61,12	1	-161,24	-9855,00
Total	122,24			

DEMANDA POR COMPONENTES

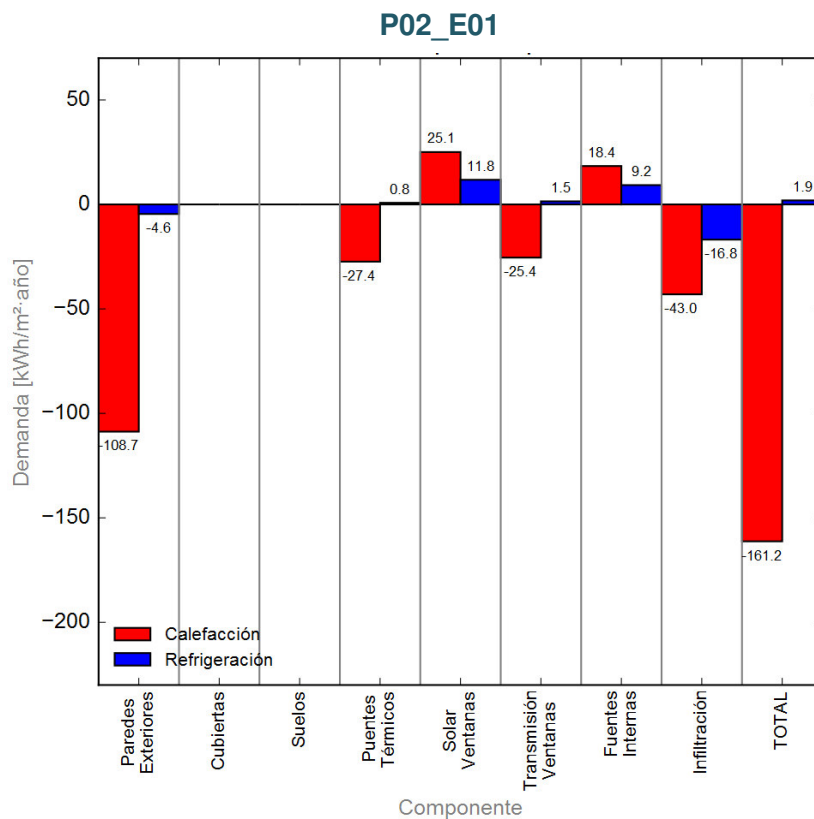
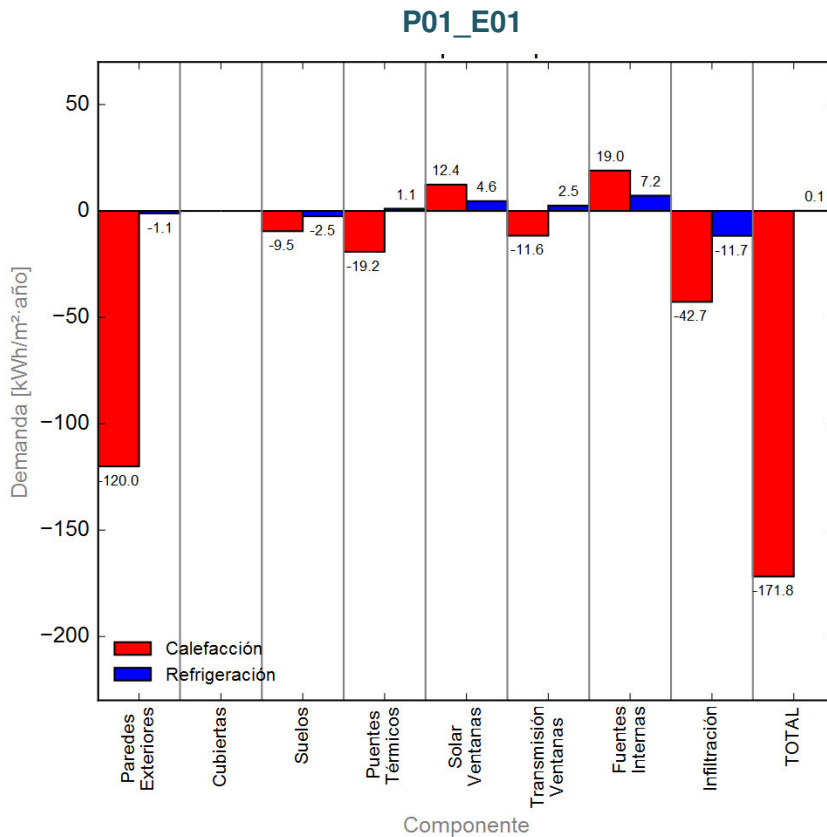
Otros de los valores que el programa nos permite analizar son las demandas energéticas de los elementos constructivos. Estos datos son de gran importancia ya que nos dirá que peso tiene cada componente en la demanda total del edificio y así poder actuar sobre él.

EDIFICIO OBJETO



El gráfico anterior representa los resultados del conjunto de la vivienda unifamiliar, así pues, se puede observar que las mayores pérdidas de calor se producen a través de los cerramientos de fachada, que en este caso se corresponde con muro de mampostería seguido por las pérdidas de calor producidas por infiltraciones.

Para proponer medidas de mejora más concretas y ajustadas a cada caso realizaremos los gráficos por espacios con los datos que nos ofrece LIDER y que se han interpretado en forma de gráfico:

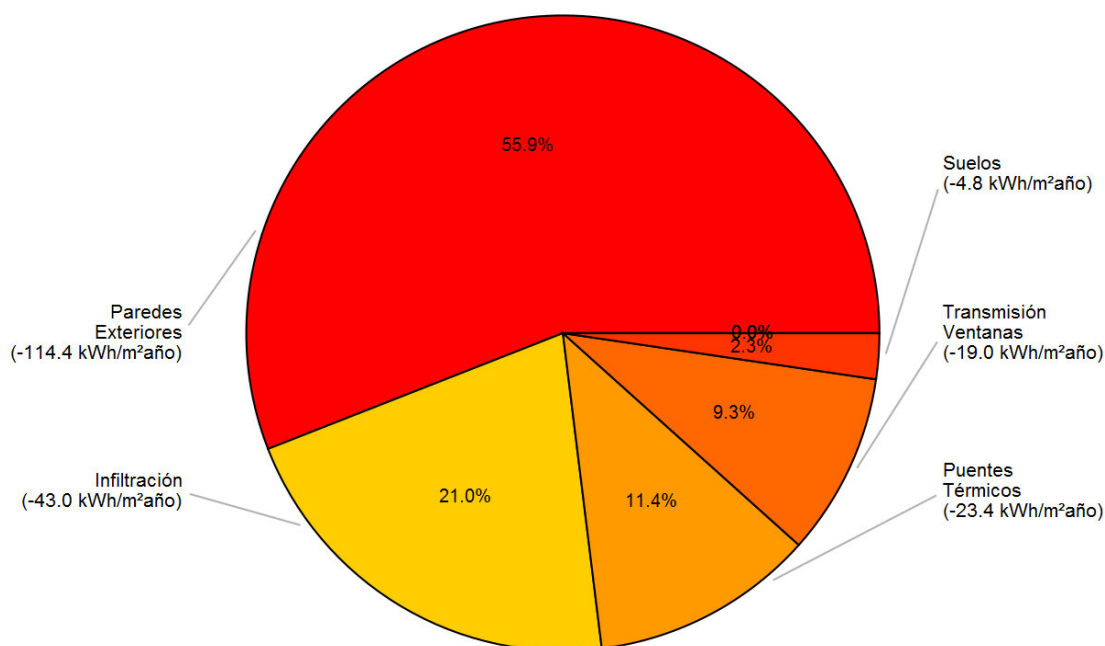


Como se puede observar, los componentes que generan más pérdidas son cerramiento exterior/puentes térmicos /infiltraciones. Las pérdidas a través del cerramiento de planta baja no difieren en gran cantidad con las de planta alta.

En el suelo de planta baja se produce una demanda de calefacción de $-9,50 \text{ Kwh/m}^2\text{año}$ mientras que las pérdidas en planta alta a través de este mismo componente son prácticamente nulas. Es obvio puesto que el primero está en contacto directo con el terreno.

Se producen contribuciones de energía a través de ventanas y fuentes internas en ambas plantas.

El siguiente gráfico, a modo de resumen, nos informa de las demandas energéticas expresadas en % que recaen sobre cada uno de los elementos constructivos:



Más de la mitad de las pérdidas térmicas del inmueble (un **55,90 %**) se producen a través del cerramiento exterior. Los intercambios térmicos por conducción y convección se producen a través del vidrio, siendo determinante las carpinterías pues son las que establecen las infiltraciones de aire (**21,00 %** de pérdidas).

Con un porcentaje importante (**11,40%**), están las pérdidas caloríficas por puentes térmicos (PT). Como ya se ha expresado en el Caso 1, los PT se convierten en partes vulnerables y sensibles del edificio al disminuir la resistencia térmica con respecto al resto del cerramiento,

provocando en épocas frías la aparición de condensaciones superficiales entre otros inconvenientes.

Es de suma importancia actuar sobre los PT, ya que si las propuestas de mejora que se van a proponer a lo largo de este trabajo obviarán este punto, no sólo no mejoraremos los resultados de los PT sino que empeorarían, ya que cuanto más aislado esté el resto del cerramiento mayor serán las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos puesto que se está produciendo un aumento del flujo de calor entre el interior y el exterior a través de estos puntos.

Por último, con un **11,60 %** de pérdidas caloríficas están los "suelos" y ventanas. El mayor porcentaje de pérdidas de calor por suelo están referidas al de planta baja, ya que está en contacto directo con el terreno careciendo de cualquier tipo de asilamiento lo que hace que la demanda de este componente sea elevada. El CTE marca una transmitancia térmica máxima de 0,64 (W/m²K) para suelos en zona D y nuestro caso a estudio en estado actual presenta una transmitancia de más del doble (1,52), por lo que este será un punto a tratar en la propuesta de mejoras energéticas.

6. PROPUESTAS DE MEJORA ENERGÉTICA

Una vez se han evaluado los edificios de origen, se establecerán diversas hipótesis de rehabilitación térmica de la envolvente conforme a los criterios establecidos en la primera parte de este TMF.

Se valorarán dos casos en la fachada, en función de si el aislamiento se coloca por el exterior o por el interior y se aplicará el mismo tipo de ventana para los dos casos de estudio.

Las medidas que se plantean en el presente trabajo son las siguientes:

1. Sustitución de carpintería exterior existente (MED_ER01):

Las ventanas existentes en el edificio serán eliminadas y sustituidas por otras de las siguientes características:

ELEMENTO	TIPO DE ACRISTALAMIENTO	MARCO	%MARC O SOBRE HUECO	PERMEABILIDAD m ³ /hm ² a 100Pa	FACTOR SOLAR	U marco W/m ² K	U vidrio W/m ² K	UH W/m ² K
VENTANA <small>33</small>	Doble acristalamiento 4/16/4 bajo emisivo	PVC con 5 cámaras	20,00	Clase 4: 3 m ³ /hm ²	0,65	1,30	1,10	1,20

³³ Datos obtenidos de los productos disponibles en la web de Silmaplast. Ventana del tipo EuroFutur Elegance.

Se escogen ventanas con marco de PVC puesto que son más aislantes que las de marco de aluminio, esto se debe a la amplia variedad que hay entre sus coeficientes de conductividad térmica (aluminio: 206 W/mK y PVC: 0,16 W/mK), así pues, cuanto menor es el valor de la conductividad térmica mayor es el aislamiento. Por otro lado, se excluye también la opción del marco de madera, ya que si bien es un buen material aislante que reduce las pérdidas o ganancias térmicas necesitan un mantenimiento a lo largo de su vida útil, viéndose afectadas por las condiciones climatológicas pudiendo llegar a hinchar y deformar el marco provocando una merma importante en sus propiedades.

El tipo de apertura de la ventana seleccionada será abatible puesto que son más estancas que las de tipo corredera, pues las infiltraciones son mayores en esta última.

2. Adición de aislamiento térmico por el exterior de la fachada (MED_ER02):

El sistema propuesto en este punto está formado por los siguientes elementos:

- Aislamiento a base de poliestireno expandido (EPS)
- Mortero adhesivo y/o fijaciones mecánicas
- Perfiles metálicos o plásticos para el replanteo del sistema y los encuentros con los huecos de la fachada y los remates superior e inferior.
- Imprimación
- Mallas de refuerzo
- Revestimiento de acabado

Se elige poliestireno expandido como aislante porque suele ser el más empleado en este tipo de rehabilitaciones además de por sus múltiples cualidades, entre las que se encuentran las de ligereza, amortiguación de impactos, resistencia mecánica, resistencia a la humedad, facilidad de manipulación e instalación, resistencia química, versatilidad y facilidad de conformado, carácter higiénico, resistencia al envejecimiento y es 100% reciclable.

Se realizarán los cálculos con EPS de la gama Knauf Therm Th34SE cuya conductividad térmica es de 0,034(W/mK), con un espesor de 120mm lo que supone una resistencia térmica de 4,41 (m²K/W) y por consiguiente una transmitancia térmica de 0,28 (W/m²K).

3. Adición de aislamiento térmico por el interior de la fachada (MED_ER03):

Se propone aislar por el interior con acabado de yeso y cámara de aire ventilada en la vivienda unifamiliar. El aislamiento empleado será poliestireno expandido (EPS).

Se replantea un sistema estructural portante de perfiles de chapa de acero plegados en frío, separándose del muro para formar una cámara de 8cm. Sobre los perfiles se atornillan las placas de yeso laminado dotadas de paneles de aislamiento térmico de 12cm.

4. Aislamiento del forjado en contacto con espacio no habitable (MED_ER04):

Como se pudo observar en los gráficos anteriormente analizados en el caso de estudio 1, se producían importantes pérdidas caloríficas a través del suelo de planta primera en contacto con garajes. Por ello, esta medida va encaminada a reducir estas pérdidas dotando a dicho forjado de aislamiento térmico por su cara inferior. Se empleará EPS de 120mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado.

5. Aislamiento del forjado en contacto con el terreno:

En el caso de estudio 2 (vivienda unifamiliar) el suelo de planta baja está en contacto con el terreno, lo que supone una fuente de pérdida energética. Para evitar este gasto de energía se podría añadir aislante térmico sobre la solera y sobre ésta un nuevo pavimento. El nuevo nivel del suelo terminado necesitará reajustes en los rodapiés y ajustes en las puertas. Con un espesor de aislante de entre 60 y 100mm se pueden obtener valores de transmitancia térmica de entre 0,31 y 0,40 W/m²K. No se tendrá en cuenta esta medida de mejora puesto que supone una reforma de mayores dimensiones que las anteriores con un coste elevado.

6. Adición de aislamiento en cubierta (MED_ER05):

La cubierta del caso de estudio 1 (bloque de viviendas) se sustenta sobre tabiques palomeros siendo complicado el acceso al bajo cubierta. Para la aplicación del aislamiento será necesario levantar el tejado y realizar una estructura que permita la fijación del aislante.

Una vez levantada la teja, sobre el soporte del faldón existente se realiza una regularización para nivelar el faldón y se coloca una barrera de vapor para evitar condensaciones intersticiales. La fijación de los paneles de aislamiento térmico EPS será mecánica y éste tendrá las siguientes características: 120mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³.

6.1. ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

A continuación se expondrán los resultados obtenidos con el programa LIDER para cada una de las medidas de mejora anteriormente descritas.

MED_ER01 – Sustitución de carpintería existente

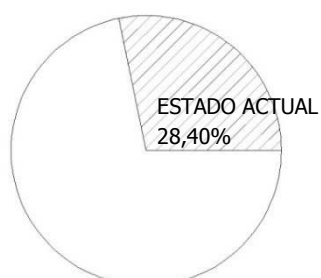
ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER01 (kWh/año)
P02_E01	58,40	1	-6162,95	-4925,45
P02_E03	57,97	1	-8265,36	-6719,88
P03_E01	58,40	1	-3265,14	-2247,81
P03_E03	57,97	1	-4942,52	-3777,90
P04_E01	58,40	1	-7725,15	-6179,88
P04_E03	57,97	1	-9406,21	-7235,23
TOTAL	349,11		-39767,33	-31086,15

- Como se aprecia en la tabla anterior, una vez introducida en LIDER la nueva tipología de ventana propuesta, las demandas de calefacción del edificio se reducen un **21,83%** con respecto a las del estado actual.

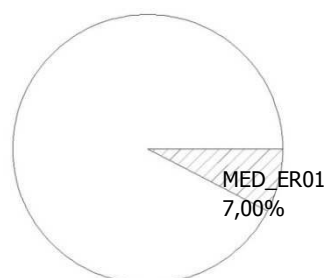
Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Ventanas
ESTADO ACTUAL	-12323,58	-9949,63	-6563,26	10996,96	-16757,28	8204,08	-13336,02	5,70
MED_ER01	-16477,99	-8169,17	-8553,19	7994,62	-2897,61	9111,77	-11066,78	1,20

- La reducción de demanda más drástica la encontramos en la transmisión de ventanas, pues se reduce en un **82,7%** debido a las propiedades de transmitancia térmica que tiene el marco y el acristalamiento de la nueva carpintería.

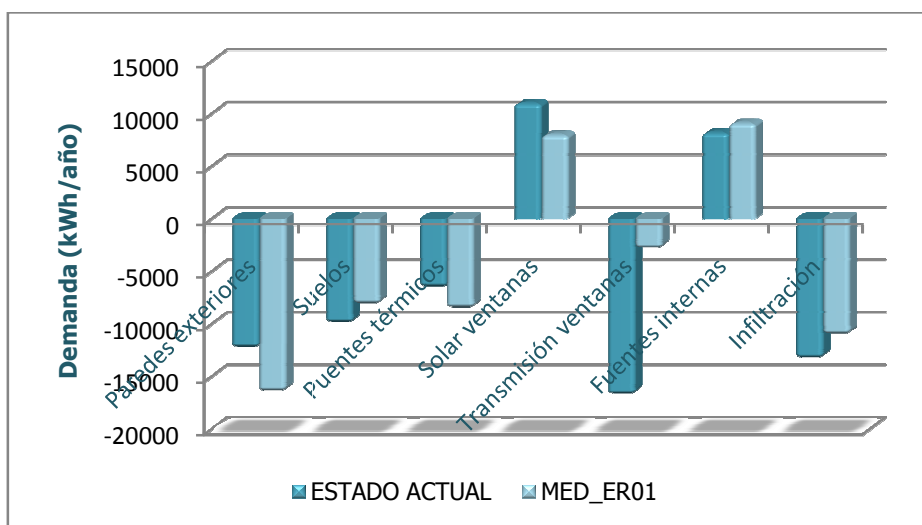


Transmisión ventanas: -48.0 kWh/m²año



Transmisión ventanas: -8.30 kWh/m²año

- Podemos observar un aumento de aproximadamente un **33%** en la demanda energética que se produce a través de los cerramientos exteriores una vez se aplica la medida de mejora en la carpintería. En un primer momento resulta curioso que habiendo incorporado una mejora en la envolvente se produzcan mayores pérdidas, esto ocurre debido a que se actúa de manera puntual sobre un elemento de la envolvente y las pérdidas que se reducen a través del elemento mejorado ahora se distribuyen por el resto de componentes de la envolvente.



- Las ganancias térmicas a través de la radiación solar disminuyen un **27,3%** debido a que el nuevo acristalamiento cuenta con un valor de factor solar inferior al existente en el estado actual.
- Se produce una ligera reducción en las pérdidas por infiltración. Esto ocurre porque estamos pasando de una ventana con una permeabilidad al aire de $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100Pa a otra de $3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

MED_ER02 – Adición de aislamiento térmico por el exterior de la fachada

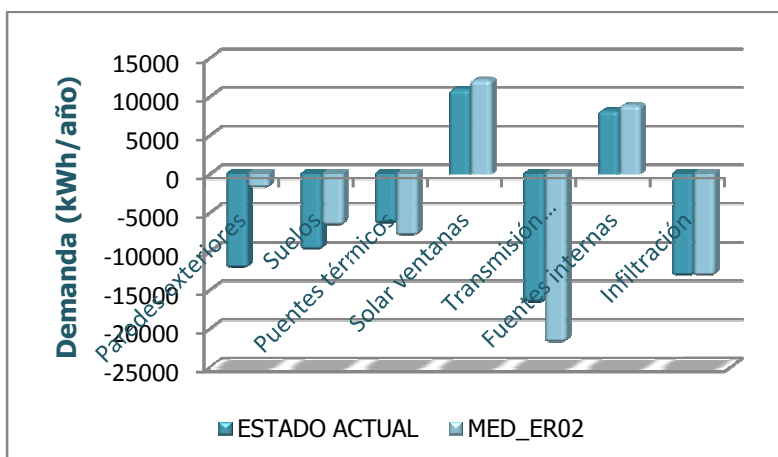
El hecho de aplicar aislamiento térmico en la fachada supone una reducción de un **23,24%** en las demandas energéticas:

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER02 (kWh/año)
P02_E01	58,40	1	-6162,95	-4883,41
P02_E03	57,97	1	-8265,36	-6779,01
P03_E01	58,40	1	-3265,14	-2278,77
P03_E03	57,97	1	-4942,52	-3881,67
P04_E01	58,40	1	-7725,15	-5776,34
P04_E03	57,97	1	-9406,21	-6924,51
TOTAL	349,11		-39767,33	-30523,71

Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Fachada
ESTADO ACTUAL	-12323,58	-9949,63	-6563,26	10996,96	-16757,28	8204,08	-13336,02	1,74
MED_ER02	-1989,93	-6807,64	-8134,26	12183,94	-21924,12	8902,30	-13336,02	0,26

- En el cuadro que se muestra a continuación, en el cual se desglosan las demandas por componentes, podemos apreciar una notable reducción de las pérdidas a través de los cerramientos exteriores pasando de -12323,58kWh/año a -1989,93kWh/m²año lo que supone un descenso del **83,85%**.



- Las pérdidas a través de las ventanas aumentan un **30,83%**, pues ocurre lo mismo que en la medida de mejora anterior (MED_ER01). Cuando se mejora una zona puntual de la fachada, en este caso la zona opaca, la energía que antes se perdía por este componente ahora se reparte por el resto, de ahí las demandas en ventanas hayan aumentado.
- En el resto de componentes no se encuentran cambios reseñables en las demandas una vez aplicada la mejora.

MED_ER04 – Aislamiento del forjado en contacto con espacio no habitable

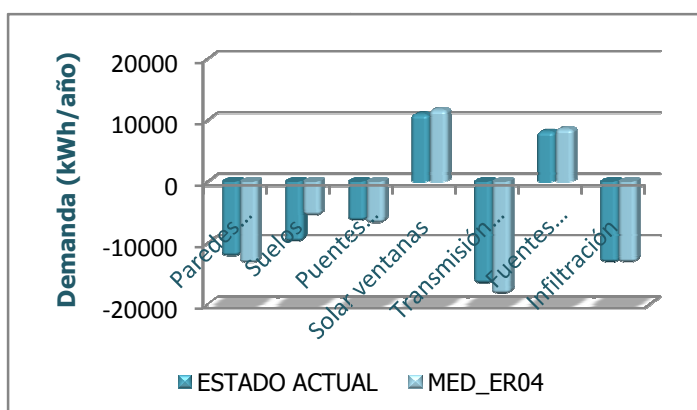
Esta medida se aplica en los forjados en contacto con espacios no habitables como son el suelo de planta primera que está en contacto con garajes y el techo de planta tercera, la cual está en contacto con el bajo cubierta no habitable. Una vez que se introduce la mejora en la simulación energética observamos que las demandas del edificio se reducen en un **19,24%**.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER04 (kWh/año)
P02_E01	58,40	1	-6162,95	-5135,69
P02_E03	57,97	1	-8265,36	-6104,24
P03_E01	58,40	1	-3265,14	-3249,96
P03_E03	57,97	1	-4942,52	-5155,27
P04_E01	58,40	1	-7725,15	-5691,08
P04_E03	57,97	1	-9406,21	-6781,33
TOTAL	349,11		-39767,33	-32117,57

Resultados por componentes:

- En cuanto a las demandas por componente es destacable la reducción de kWh/m²año que se produce en "suelos", pues disminuye en un **42,45%** tras la aplicación del aislamiento.

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Forjado en contacto NH
ESTADO ACTUAL	-12323,58	-9949,63	-6563,26	10996,96	-16757,28	8204,08	-13336,02	1,96
MED_ER04	-13440,73	-5725,40	-6947,29	11730,09	-18433,08	8623,01	-13336,02	0,22



- En el resto de componentes vuelve a producirse un aumento de las demandas (cerramientos exteriores, transmisión ventanas, puentes térmicos) por liberación de las que antes eran producidas a través de los suelos que ahora están aislados.

MED_ER05 – Adición de aislamiento en cubierta

Aplicando esta medida conseguimos reducir las demandas del edificio un **17,78%** con respecto a las del estado actual.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER05 (kWh/año)
P02_E01	58,40	1	-6162,95	-6098,71
P02_E03	57,97	1	-8265,36	-8176,08
P03_E01	58,40	1	-3265,14	-3265,14
P03_E03	57,97	1	-4942,52	-5150,63
P04_E01	58,40	1	-7725,15	-4142,31
P04_E03	57,97	1	-9406,21	-5857,86
TOTAL	349,11		-39767,33	-32690,75

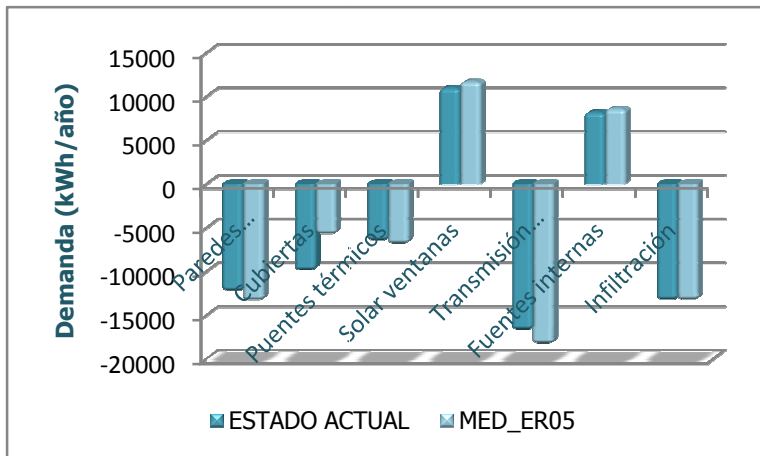
Resultados por componentes:

Analizando los resultados por componentes, es en la cubierta dónde encontramos la reducción de demanda más notable con un **41,39%** con respecto al estado actual. Este es un elemento muy expuesto a los agentes climatológicos por lo que se obtiene este porcentaje al añadir aislamiento y aumentar así su resistencia térmica.

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Cubiertas	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	
ESTADO ACTUAL	-12323,58	-9949,63	-6563,26	10996,96	-16757,28	8204,08	-13336,02	2,05
MED_ER05	-13370,91	-5831,47	-6912,37	11730,09	-18328,27	8623,01	-13336,02	0,23

ESTUDIO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LAS DEMANDAS ENERGÉTICAS EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER TECNOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE 2014-2015



- Se repite el aumento de demandas energéticas en otros elementos puesto que las pérdidas que se producían por la cubierta ahora se reparten por el resto de componentes.

6.2. ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

A continuación se exponen los resultados obtenidos en la simulación energética con el programa LIDER para cada una de las medidas de mejora citadas en puntos anteriores, obteniendo las demandas energéticas además de analizar las condiciones higrotérmicas de los elementos en contacto con el espacio exterior.

MED_ER01 – Sustitución de carpintería existente

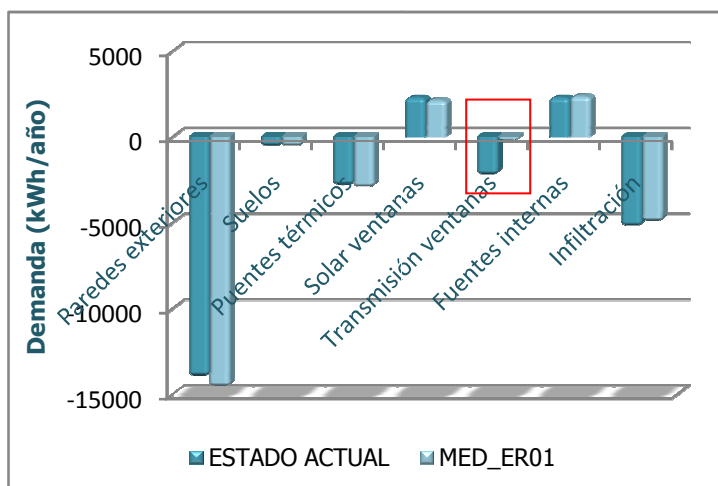
Se muestran las demandas de calefacción obtenidas al cambiar las ventanas existentes por las nuevas de PVC y doble acristalamiento, analizando los datos por espacios y por componentes comparándolos con los del estado actual.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER01 (kWh/año)
P01_E01	61,12	1	-10501,03	-9811,59
P02_E01	61,12	1	-9854,99	-8866,68
TOTAL	122,24		-20356,02	-18678,27

Como se aprecia en la tabla anterior, una vez introducida en LIDER la nueva tipología de ventana propuesta, las demandas de calefacción del edificio se reducen un **8,25%** con respecto a las del estado actual.

Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Ventanas
ESTADO ACTUAL	-13984,25	-586,75	-2848,19	2285,88	-2261,44	2285,88	-5244,09	5,70
MED_ER01	-14595,45	-598,97	-2982,65	2126,97	-302,22	2359,23	-4975,16	1,20



- Se puede apreciar en el gráfico la drástica bajada de demanda en la transmisión de las ventanas, pues con la nueva medida de mejora se reducen las pérdidas a través de este elemento en un **86,63%**.
- Reducción de un **7%** en las ganancias térmicas por radiación, motivo de haber disminuido el factor solar con la nueva carpintería.

- Entre las características de la nueva carpintería está la baja permeabilidad al aire (3 m³/hm² a 100Pa), lo que nos proporciona un **5%** de reducción en las pérdidas térmicas por infiltración.
- Se repite el aumento de demandas energéticas en otros elementos puesto que las pérdidas que se producían por la carpintería ahora se reparten por el resto de componentes (cerramiento exterior opaco, suelos y puentes térmicos).

MED_ER03 – Adición de aislamiento térmico por el interior de la fachada

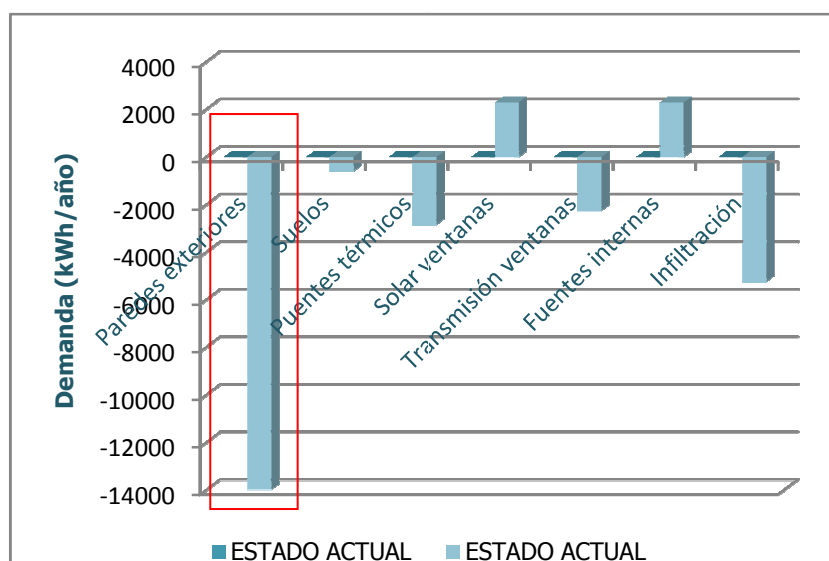
Se muestran las demandas de calefacción en la vivienda obtenidas al añadir aislamiento térmico por el interior. Como ya se explico anteriormente, se replantea un sistema estructural portante de perfiles de chapa de acero plegados en frío, separándose del muro para formar una cámara de 50mm. Sobre los perfiles se atornillan las placas de yeso laminado dotadas de paneles de aislamiento térmico de 120mm.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER03 (kWh/año)	Demanda de Refrigeración MED_ER03 (kWh/año)
P01_E01	61,12	1	-10501,03	-4505,15	0,00
P02_E01	61,12	1	-9854,99	-5222,70	329,87
TOTAL	122,24		-20356,02	-9727,85	329,87

- Como se aprecia en la tabla anterior, una vez introducida en LIDER la nueva medida de mejora, las demandas de calefacción del edificio se reducen un **52,21%** con respecto a las del estado actual.
- Se produce un aumento en las demandas de refrigeración (inexistentes hasta el momento) en el espacio P02_E01. Demanda unos valores de 5,39 kWh/m²año lo que está muy por debajo del límite que establece el CTE (15,00 kWh/m²año).

Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Fachada
ESTADO ACTUAL	-13984,25	-586,75	-2848,19	2285,88	-2261,44	2285,88	-5244,09	2,60
MED_ER03	-1723,58	-831,23	-4241,72	3153,79	-3496,06	2909,31	-5500,80	0,21



- Se puede apreciar en el gráfico la drástica bajada de demanda calorífica a través de los cerramientos exteriores, pues con la nueva medida de mejora se reducen las pérdidas a través de este elemento en un **87,67%**.

- Se repite el aumento de demandas energéticas en otros elementos puesto que las pérdidas que se producían por el cerramiento exterior ahora se reparten por el

resto de componentes: Puentes térmicos, suelos, carpintería exterior (54,6%) e infiltraciones.

MED_ER04 – Aislamiento del forjado en contacto con espacio no habitable

Se muestran los resultados obtenidos en la simulación al aplicar aislamiento EPS de 120mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado.

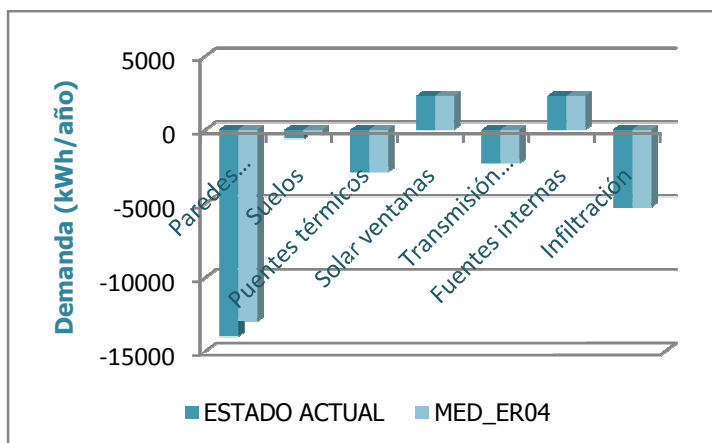
ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER04 (kWh/año)
P01_E01	61,12	1	-10501,03	-10395,15
P02_E01	61,12	1	-9854,99	-9686,85
TOTAL	122,24		-20356,02	-20081,99

- El aplicar esta medida apenas supone una reducción de la demanda del inmueble, pues se reducen solamente en un **1,35%**.

Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)							U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	Forjado en contacto NH
ESTADO ACTUAL	-13984,25	-586,75	-2848,19	2285,88	-2261,44	2285,88	-5244,09	1,20
MED_ER04	-12984,12	-381,72	-2848,19	2285,88	-2261,44	2285,88	-5244,09	0,20

- Apenas hay variación con respecto a los valores del estado actual. Existe una pequeña reducción de un **7%** en las demandas producidas a través de los cerramientos exteriores.



MED_ER05 – Adición de aislamiento en cubierta

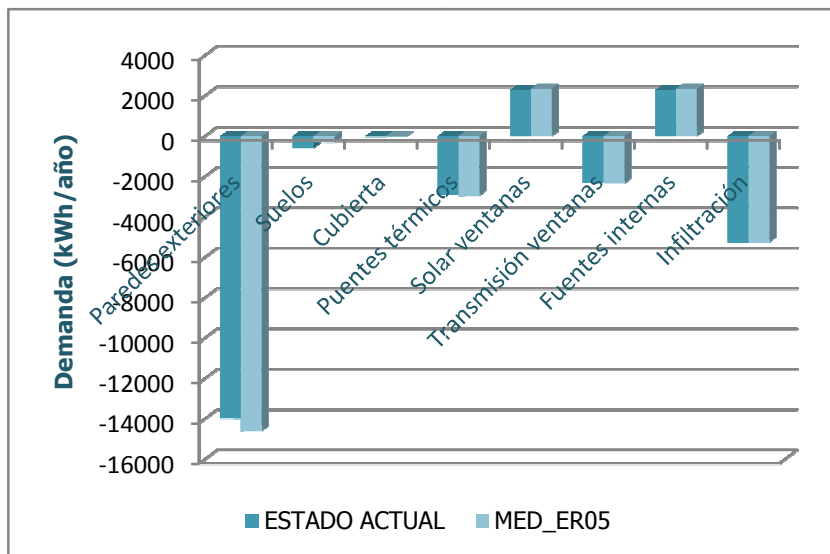
Los resultados obtenidos son resultado de rehacer la simulación energética de la vivienda dotando a la cubierta de paneles de aislamiento térmico EPS con fijación mecánica con las siguientes características: 120mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³.

ESPACIOS	m ²	nº espacios iguales	Demanda de Calefacción Estado Actual (kWh/año)	Demanda de Calefacción MED_ER05 (kWh/año)
P01_E01	61,12	1	-10501,03	-10294,75
P02_E01	61,12	1	-9854,99	-9135,25
TOTAL	122,24		-20356,02	-19429,99

- Las demandas se reducen un **4,5%** con la aplicación de esta medida de medida.

Resultados por componentes:

	Demanda (kWh/año)								U (W/m ² K)
	Paredes exteriores	Suelos	Cubierta	Puentes térmicos	Solar ventanas	Transmisión ventanas	Fuentes internas	Infiltración	
ESTADO ACTUAL	-13984,25	-586,75	-19,32	-2848,19	2285,88	-2261,44	2285,88	-5244,09	2,54
MED_ER05	-14583,23	-317,84	-11,25	-2945,98	2347,08	-2334,78	2347,08	-5244,09	0,22



- Se puede apreciar en el gráfico la bajada de demanda calorífica a través de la cubierta, pues con la nueva medida de mejora se reducen las pérdidas a través de este elemento en un **41,77%**.

- Se repite el aumento de demandas energéticas en otros elementos puesto que las pérdidas que se producían por el cerramiento exterior ahora se reparten por el

resto de componentes: Puentes térmicos, cerramiento exterior, carpintería exterior e infiltraciones.

7. ESTIMACIÓN DE LOS AHORROS ENERGÉTICOS OBTENIDOS AL APLICAR LAS MEDIDAS DE MEJORA PROPUESTAS

Tras la evaluación de la reducción de la demanda energética que se ha hecho en los puntos anteriores mediante distintas propuestas de mejora, pasaremos ahora a determinar si suponen un ahorro apreciable en cuanto al coste final de la mejora se refiere. Para ello se valorarán aspectos como el ahorro (€) que nos proporciona cada una de las distintas medidas de mejora, el plazo de amortización o la relación entre dinero invertido y energía ahorrada (kWh/año.€invertido).

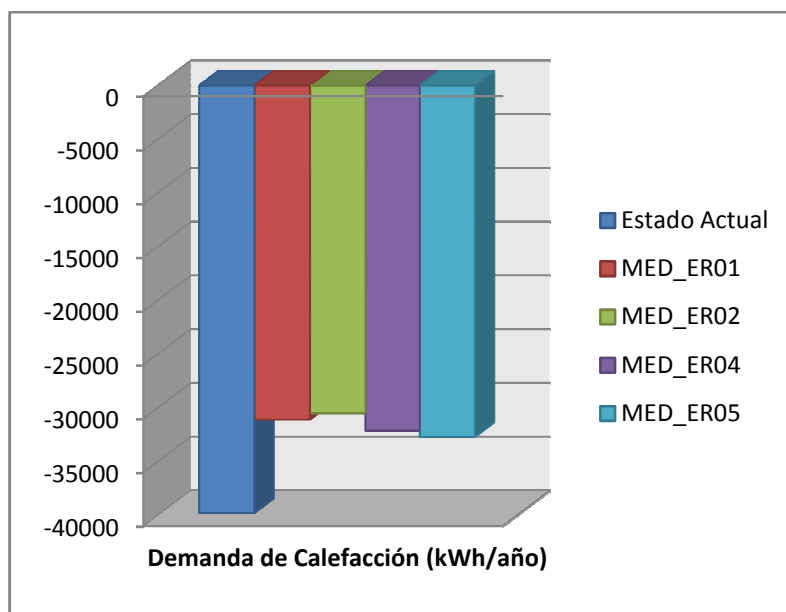
Una vez de haya valorado cual es la medida más rentable, analizaremos también si funciona higrotérmicamente, pues esto es un factor importante a la hora de escoger un sistema constructivo ya que no sólo debe funcionar bien térmicamente sino que debemos de evitar que se produzcan condensaciones. En el caso de que se produzcan condensaciones intersticiales, estas serán tales que no produzcan una reducción de las prestaciones térmicas o influyan negativamente en la vida útil del sistema.

Cabe destacar que este análisis higrotérmico **no es el objetivo de este trabajo** por lo que las medidas de mejora sólo se valorarán desde el punto de vista térmico, dejando abierta una línea de estudio para profundizar en el complejo análisis y soluciones de las condensaciones.

7.1. ESTUDIO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS PB+3+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

Como se puede observar en las siguientes tablas y gráficos, los mayores ahorros energéticos se obtienen con la intervención **MED_ER02** (23,25%) y MED_ER01 (21,83%).

	Presupuesto ³⁴ (€)	Demanda de Calefacción (kWh/año)	% Ahorro demanda calefacción	Kwh/año ahorrados	Ahorro en caso de electricidad* (€)	Plazo de amortización (años)	RATIO kWh/año. €
Estado Actual	0,00	-39767,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MED_ER01	11.403,44	-31086,15	21,83	-8681,18	1.128,55	10,10	0,76
MED_ER02	10.893,40	-30523,71	23,25	-9243,62	1.201,67	9,06	0,85
MED_ER04	9.300,00	-32117,57	19,25	-7649,76	994,47	9,35	0,82
MED_ER05	12.795,17	-32690,75	17,80	-7076,58	919,95	14,00	0,55



Es lógico pensar que los resultados más relevantes pertenezcan a la parte opaca de la fachada pues ocupa el mayor % de superficie de la envolvente térmica.

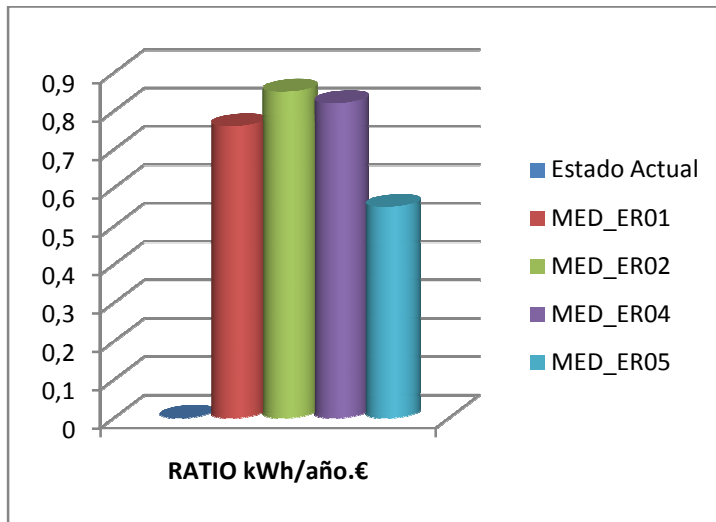
Si aplicamos la MED_ER02 correspondiente al aislamiento térmico por el exterior de la fachada, cuyo presupuesto calculado en el anexo X es de 10.893,40€, y suponemos que los equipos generadores de calor son eléctricos (0,13 €/kWh) obtenemos unos ahorros anuales de 1.201,67€. El plazo de amortización de esta obra es de 9 años, pero los beneficios serán visibles desde el momento que esta finalice ya que el inmueble gana en bienestar y confort además de aumentar su valor, que es otro punto importante.

Otro factor importante a la hora de comparar propuestas es el *RATIO kWhahorrado/año.€invertido* que nos informa acerca de qué propuesta es la más eficiente en cuanto a energía/economía.

³⁴ Presupuesto desarrollado en Anexo

*Precio de la electricidad – 0,13€/kWh

Analizando el ratio de todas las propuestas observamos que la MED_ER02 destaca sobre las demás con unos ahorros anuales en demanda calorífica de 0,85 kWhahorrado/año.€invertido, generando 1,5 veces más ahorro por euro invertido que la MED_ER05 correspondiente al aislamiento de la cubierta (0,55 kWhahorrado/año.€invertido).



Condiciones higrotérmicas MED_ER02

La propuesta **MED_ER02**, correspondiente a la adición de aislamiento térmico por el exterior, es la que más ahorro energético aporta y la que mayor *RATIO kWhahorrado/año.€invertido* tiene. A continuación se comprobará si también cumple las exigencias del CTE en cuanto a la producción de condensación en un cerramiento. Para realizar estos cálculos se ha empleado una hoja Excel realizada por el Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de A Coruña disponible en la página web (Ver Anexo 10).

En ella se lleva a cabo, entre otras, las siguientes comprobaciones:

- Comprobación de condensaciones superficiales
- Comprobación de condensaciones intersticiales: cálculo de las presiones de vapor frente a las presiones de saturación en el cerramiento.
- Cálculo anual de la cantidad condensada según UNE EN ISO 13788:2002 para situaciones con condensaciones intersticiales.
- El cálculo de la transmitancia U del cerramiento.

Así pues, introduciendo los datos referentes a la MED_ER02 obtenemos los siguientes datos:

Condición ambiental mes de enero: $\phi_i = 0,55$, $\theta_i = 20$ °C, $\phi_e = 1$, $\theta_e = 1,2$ °C. Z. clim. D1

Resistencias térmicas superficiales: Flujo horizontal con el exterior

Tipo de cerramiento: MURO

RESULTADOS HE1: Transmitancia (W/m² K) U = 0,25, Umax = 0,86. Moho superficial fRsi = 0,938, fRsi, min = 0,685.

NO EXISTE RIESGO DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL

Material (composición del cerramiento de interior a exterior)	Espesor (m)	Psat, n (Pa)	Pn (Pa)	Condensación intersticial
YESO ALTA DUREZA 900<D<1200	0,020	2.217,95	1.274,89	No
TABICÓN LHD 60<E<90 MM	0,080	2.099,27	1.170,57	No
CÁMARA VERT. LIGERAM. VENTIL. 5 CM	0,050	2.043,57	1.169,26	No
1/2 PIE LP 40<G<60 MM	0,123	1.929,05	1.008,87	No
MORTERO DE CEMENTO Y ARENA	0,020	1.917,45	982,79	No
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.037	0,120	676,72	669,83	No
MORTERO DE ÁRIDOS LIGEROS (VERMICULITA, PERLITA)	0,003	675,10	665,92	No

Rs (m² K / W)	tsi (°C)	Ps (Pa)	Pv (Pa)	Condensación superficial
0,15	19,4	2249,02	1.285,32	No

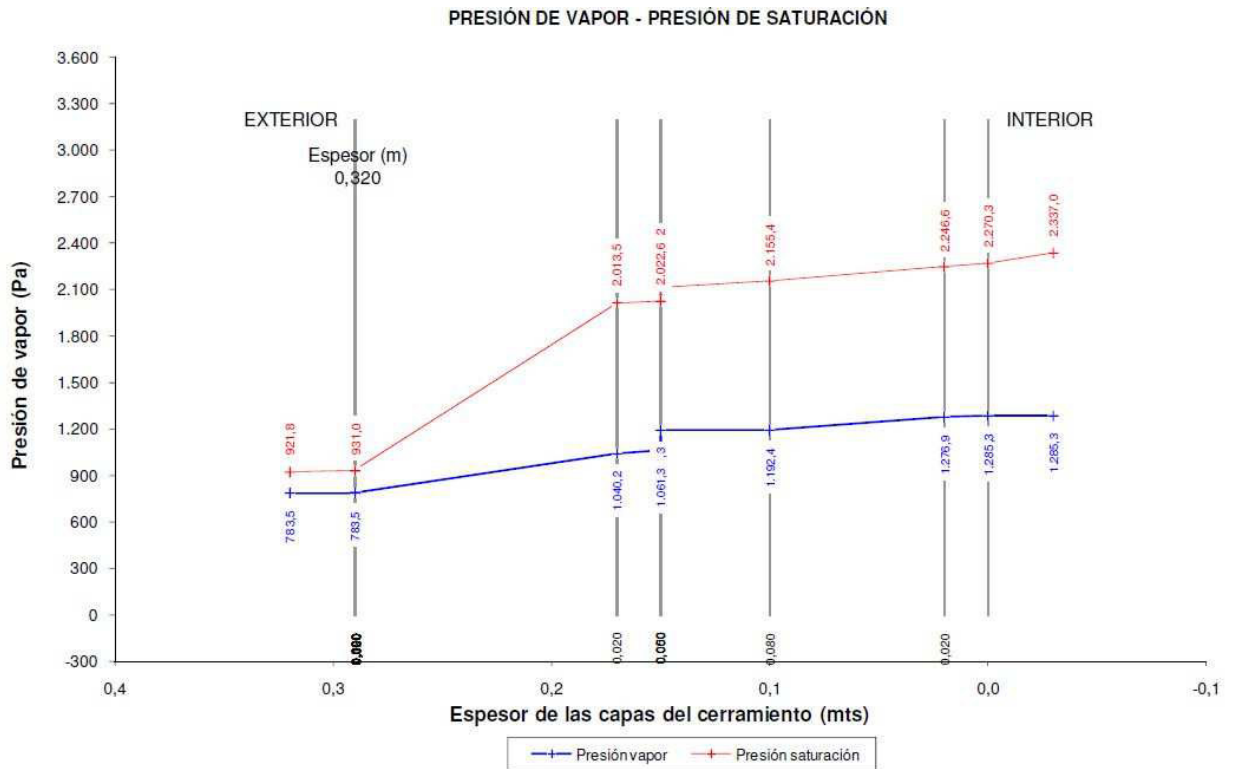
Composición del cerramiento MED_ER02 obteniendo los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica

Se establece una humedad relativa interior del 55% al ser un espacio de clase de higrometría 3 en el que no se prevé una alta producción de humedad. La temperatura interior se establece en 20° y la exterior para el mes de enero en Lugo será de 1,2° con una humedad relativa exterior del 85%.

Para que no se produzcan, como ya sabemos, condensaciones superficiales en los cerramientos el factor de temperatura de la superficie interior (f_{Rsi}) debe de ser superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo ($f_{Rsi,min}$) para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero.

Como podemos apreciar en la tabla de resultados, $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$ ($0,938 > 0,685$), por lo que cumple y **no se produce condensación superficial**.

La comprobación de las formaciones de las condensaciones intersticiales se realiza comparando la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio del cerramiento, para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero. No se producirán condensaciones intersticiales siempre que la presión de vapor en la superficie de cada capa sea inferior a la presión de vapor de saturación.



Como se observa en el gráfico, la presión de vapor es inferior a la presión de saturación sin que ambas se crucen en ningún punto del cerramiento lo que indica que **no se forman condensaciones intersticiales en ningún mes del año:**

Resumen condensaciones intersticiales

ENERO: No existe condensación intersticial JULIO: No existe condensación intersticial
 FEBRERO: No existe condensación intersticial AGOSTO: No existe condensación intersticial
 MARZO: No existe condensación intersticial SEPTIEMBRE: No existe condensación intersticial
 ABRIL: No existe condensación intersticial OCTUBRE: No existe condensación intersticial
 MAYO: No existe condensación intersticial NOVIEMBRE: No existe condensación intersticial
 JUNIO: No existe condensación intersticial DICIEMBRE: No existe condensación intersticial

constante: 55 %

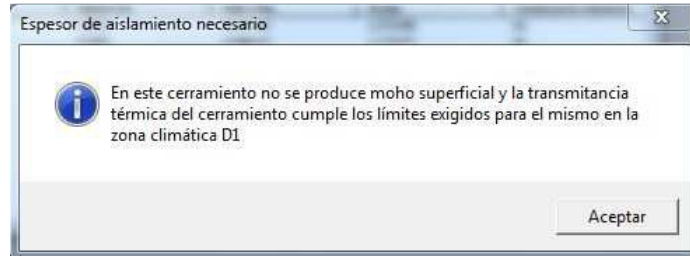
meses del año: 20 °C

Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Mes más desfavorable para condensación superficial (por Hr constante)

Humedad relativa exterior: 85 % Humedad relativa interior: 55 %

Espesor	RTn*(f)	Δθn (°C)	θn (°C)	Psn (Pa)	Sdn (m)	ΔPn (Pa)	Pn (Pa)	Condensación
-	-	-	20,0	2.336,95	-	-	1285,32	
-	0,130	0,467	19,5	2.270,26	-	-	1285,32	No
0,020	0,047	0,169	19,4	2.246,57	0,08	8,452	1276,87	No
0,080	0,185	0,664	18,7	2.155,38	0,80	84,518	1192,35	No
0,050	0,090	0,323	18,4	2.112,20	0,01	1,056	1191,30	No
0,123	0,192	0,690	17,7	2.022,61	1,23	129,946	1061,35	No
0,020	0,020	0,072	17,6	2.013,47	0,20	21,129	1040,22	No
0,120	3,243	11,647	6,0	932,61	2,40	253,553	786,67	No
0,003	0,007	0,025	5,9	930,99	0,03	3,169	783,50	No

Por otro lado, la aplicación concluye que espesor de aislamiento que estamos aplicando cumple con los límites exigidos en la zona D1, correspondiente a Lugo:



Por lo tanto, el cerramiento con la nueva medida de mejora propuesta cumple con las exigencias relativas a demanda energética y con las relativas a condensaciones.

- Finalmente, volviendo al aspecto que nos ocupa, se ha simulado el edificio con las 4 medidas de mejora a la vez, lo que dio unos resultados de demanda de calefacción de -11649,80kWh/año (Estado actual -39767,33 kWh/año). Esto supone unos ahorros de demanda del **70,70%** con una inversión de 44.392,01 euros:

	Presupuesto ³⁵ (€)	Demanda de Calefacción (kWh/año)	% Ahorro demanda calefacción	Kwh/año ahorrados	Ahorro en caso de electricidad* (€)	Plazo de amortización (años)	RATIO kWh/año. €
Estado Actual	0,00	-39767,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TODAS LAS MEDIDAS APLICADAS	44.392,01	-11649,80	70,70	-28117,53	3.655,28	12,00	0,63

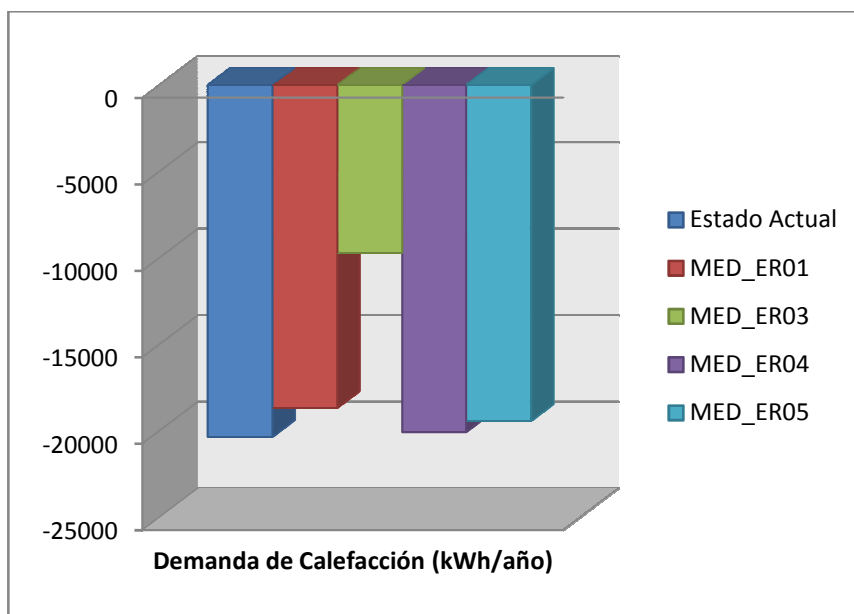
³⁵ Presupuesto desarrollado en Anexo

*Precio de la electricidad – 0,13€/kWh

7.2. ESTUDIO 2: VIVIENDA UNIFAMILIAR PB+1+BC. AÑO CONSTRUCCIÓN 1970

En el segundo caso, observamos que los mayores ahorros de demanda se obtienen al aplicar la medida de mejora **MED_ER03** (52,20%) correspondiente a la adición de aislamiento térmico por el interior del muro de mampostería, seguida muy de lejos por el resto de medidas.

	Presupuesto ³⁶ (€)	Demanda de Calefacción (kWh/año)	% Ahorro demanda calefacción	Kwh/año ahorrados	Ahorro en caso de electricidad* (€)	Plazo de amortización (años)	RATIO kWh/año.€
Estado Actual	0,00	-20356,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MED_ER01	4.764,48	-18678,27	8,25	-1677,75	218,10	22	0,35
MED_ER03	5.905,20	-9727,85	52,20	-10628,17	1.381,66	4,30	1,80
MED_ER04	3.789,44	-20081,99	1,35	-274,03	35,40	107	0,07
MED_ER05	3.720,00	-19429,99	4,55	-926,03	120,40	31	0,25



Las mayores pérdidas de energía se dan a través de los elementos opacos de ahí que los resultados más relevantes pertenezcan a este elemento. Como observamos en el gráfico, la MED_ER03 (aislamiento por el interior de la fachada) supone unos ahorros de más del 50%. Conseguir estos ahorros supondrían una inversión de 5.905,20€.

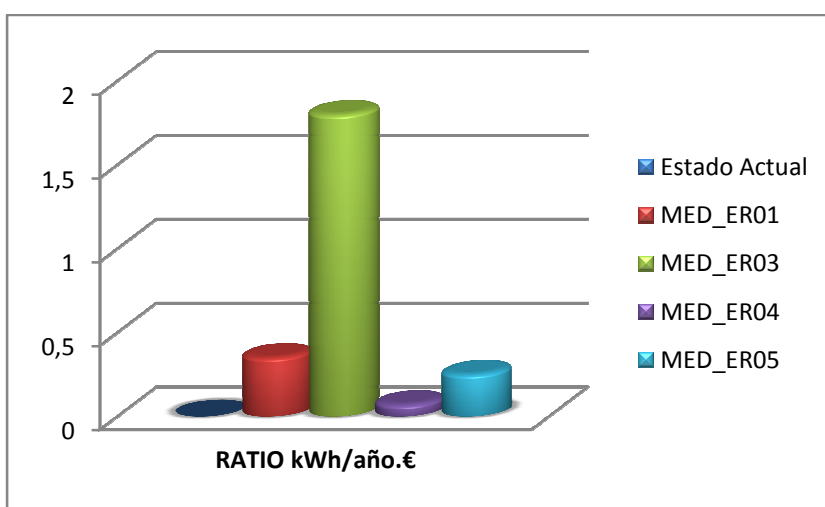
Suponiendo que la vivienda posee equipos generadores de calor eléctricos (0,13 €/kWh) obtenemos un ahorro económico anual de 1.381,66€. El plazo de amortización de esta obra es de 4,30 años, pero los beneficios serán visibles desde el momento que esta finalice ya que el inmueble gana en bienestar y confort además de aumentar su valor, que es otro punto importante.

³⁶ Presupuesto desarrollado en Anexo

*Precio de la electricidad – 0,13€/kWh

Como hemos visto en el punto anterior (caso de estudio 1) es importante a la hora de comparar propuestas, el *RATIO kWhahorrado/año.€invertido*. Esta relación nos informa acerca de qué propuesta es la más eficiente en cuanto a energía/economía.

Analizando el ratio de todas las propuestas observamos que la MED_ER03 destaca sobre las demás con unos ahorros anuales en demanda calorífica de 1,80 kWhahorrado/año.€invertido, generando 5 veces más ahorro por euro invertido que la MED_ER01 correspondiente a la sustitución de carpintería exterior (0,35 kWhahorrado/año.€invertido) y 25 veces más que la MED_ER04 correspondiente al aislamiento de forjado en contacto con espacio no habitable.



Condiciones higrotérmicas MED_ER03

La propuesta **MED_ER03**, correspondiente a la adición de aislamiento térmico por el interior, es la que más ahorro energético aporta y la que mayor *RATIO kWhahorrado/año.€invertido* tiene con diferencia sobre las demás medidas de mejora. A continuación, como se explicó para el caso 1, se comprobará si también cumple las exigencias del CTE en cuanto a la producción de condensación en un cerramiento, aún no siendo éste el objeto de este TFM.

Así pues, introduciendo los datos referentes a la MED_ER03 obtenemos los siguientes datos:

The screenshot shows a software interface for thermal analysis. On the left, a table lists material layers with their thicknesses (d in m):

Grupo de materiales	Material (de interior a exterior)	d (m)
Placas y paneles	Placa de yeso o escayola 750<d<900	0,05
Aislantes	EPS Poliestireno expandido 0.037	0,12
Cámaras de aire	Cámara vert. ligeram. ventil. > 5 cm	0,08
Mortigones y morteros	Mortero de cemento y arena	0,03
Pétreos y suelos	Granito	0,6
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	

Environmental conditions for January: $\phi_i = 0,55$, $\theta_i = 20$ °C, $\phi_e = 0,85$, $\theta_e = 5,8$ °C. Climate zone: D1.

Results for HE1: Transmittance (U) = 0,25, Umax = 0,86. Surface condensation factor (fRsi) = 0,938, fRsi,min = 0,584. A red banner indicates "EXISTE RIESGO DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL".

A table below shows the interstitial condensation results for each material layer:

Material (composición del cerramiento de interior a exterior)	Espesor (m)	Psat, n (Pa)	Pn (Pa)	Condensación intersticial
PLACA DE YESO O ESCAYOLA 750<D<900	0,050	2.170,63	1.285,30	No
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.037	0,120	1.011,39	1.285,10	Si
CÁMARA VERT. LIGERAM. VENTIL. > 5 CM	0,080	989,15	1.285,10	Si
MORTERO DE CEMENTO Y ARENA	0,030	981,83	1.285,08	Si
GRANITO	0,600	931,00	783,50	No

At the bottom, a table shows the conditions for the interior surface of the cladding:

Rsi (m² K / W)	tsi (°C)	P5 (Pa)	P4 (Pa)	Condensación superficial
0,13	19,5	2270,15	1.285,32	No

Composición del cerramiento MED_ER03 obteniendo los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica

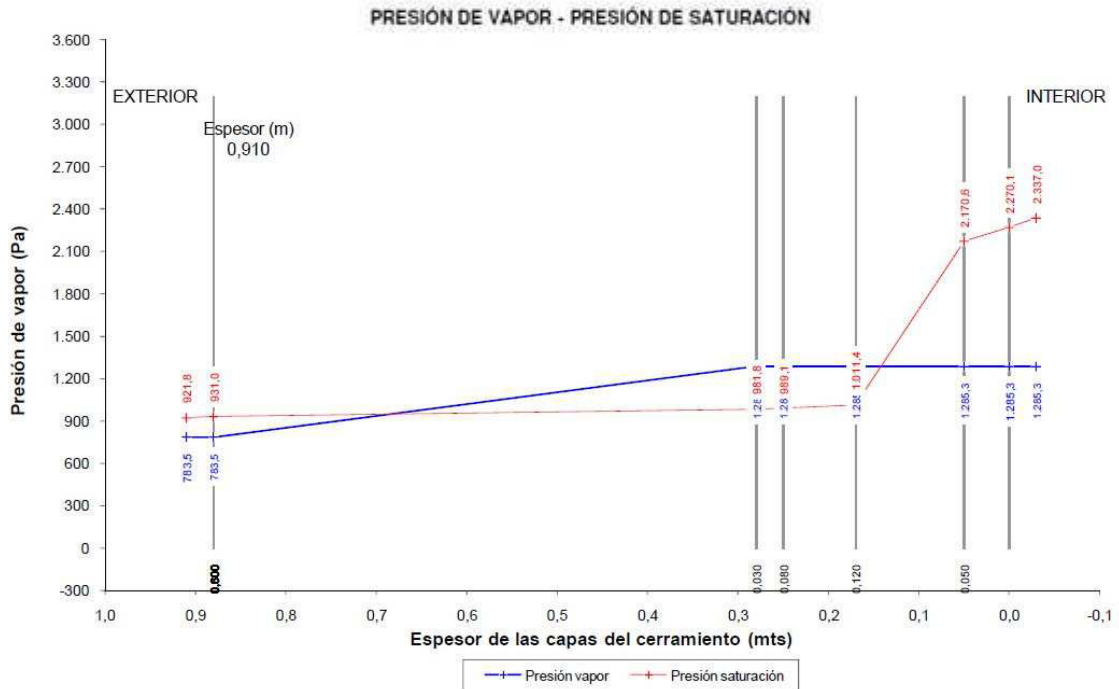
Se establece una humedad relativa interior del 55% al ser un espacio de clase de higrometría 3 en el que no se prevé una alta producción de humedad. La temperatura interior se establece en 20° y la exterior para el mes de enero en Lugo será de 5,8° con una humedad relativa exterior del 85%.

Para que no se produzcan, como ya se explicó en el punto anterior, condensaciones superficiales en los cerramientos, el factor de temperatura de la superficie interior (fRsi) debe de ser superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo (fRsi,min) para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero.

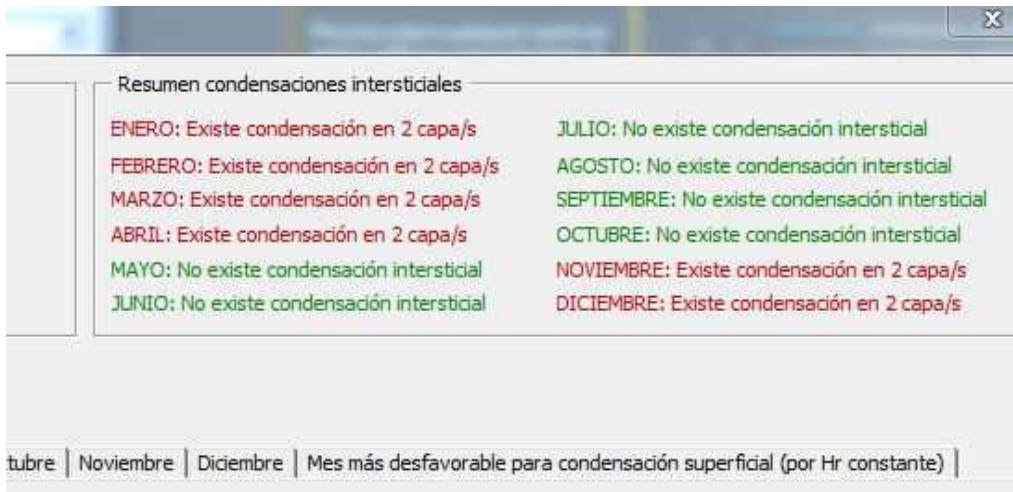
Como podemos apreciar en la tabla de resultados, $fR_{si} > fR_{si,min}$ ($0,938 > 0,584$), por lo que cumple y **no se produce condensación superficial**.

La comprobación de las formaciones de las condensaciones intersticiales no sería necesaria según el punto 4.2.2. del DA DB HE2 puesto que el cerramiento dispone de barrera contra el vapor de agua en la parte caliente del cerramiento.

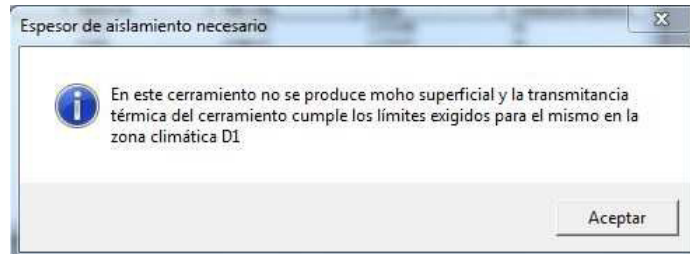
Aún así el gráfico nos indica que existe riesgo de condensación intersticial, pues es este caso la presión de vapor se cruza en algún punto del cerramiento con la presión de saturación.



El riesgo de condensación intersticial ocurre en los 6 meses correspondientes a la época fría:



Por otro lado, la aplicación concluye que espesor de aislamiento que estamos aplicando cumple con los límites exigidos en la zona D1, correspondiente a Lugo, y nos indica que no se produce moho superficial:



Por lo tanto, el cerramiento con la nueva medida de mejora propuesta cumple con las exigencias relativas a demanda energética y con las relativas a condensaciones superficiales pero nos avisa de un riesgo en cuanto a condensaciones intersticiales.

Con este punto se deja una línea de estudio abierta para poder analizar con profundidad el origen de las condensaciones intersticiales, puesto que en este TFM las soluciones son valoradas únicamente desde el punto de vista térmico.

- Finalmente, volviendo al objeto de este trabajo, se ha simulado el edificio con las 4 medidas de mejora a la vez, lo que dio unos resultados de demanda de calefacción de -7578,88kWh/año (Estado actual -20356,02 kWh/año). Esto supone unos ahorros de demanda del **37,25%** con una inversión de 18.179,12 euros.

	Presupuest o ³⁷ (€)	Demanda de Calefacción n (kWh/año)	% Ahorro demanda calefacción n	Kwh/año ahorrados	Ahorro en caso de electricida d* (€)	Plazo de amortizació n (años)	RATIO kWh/año. €
Estado Actual	0,00	-20356,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TODAS LAS MEDIDAS APLICADAS	18.179,12	-7578,88	37,25	-12777,14	1.661,05	11,00	0,70

³⁷ Presupuesto desarrollado en Anexo

*Precio de la electricidad – 0,13€/kWh

8. CONCLUSIONES

8.1. CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo inicial del presente TFM era exponer el potencial de rehabilitación del parque inmobiliario español, concretamente en la comunidad gallega y analizar sus demandas energéticas en estado actual y en estado rehabilitado obteniendo unos ahorros energéticos y económicos.

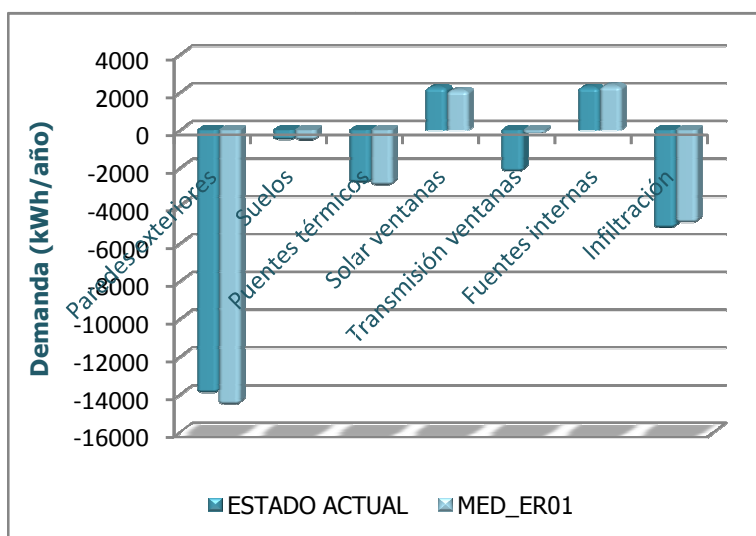
Para dar respuesta a esta cuestión fue necesario en primer lugar caracterizar y catalogar las distintas tipologías objeto de análisis así como el año de construcción de las mismas con el fin de obtener los casos más representativos. Se ha mostrado el modo en que cada una de ellas se relaciona con el medio que lo rodea y como varía esta comunicación al modificar las características de la piel del edificio, pero sobretodo se ha demostrado la elevada eficiencia, que desde el punto de vista energético tienen los distintos elementos que componen la envolvente, pues es en ésta donde se han encontrado las mayores pérdidas energéticas pero también son los elementos en los que las intervenciones propuestas producen un mayor ahorro energético.

El aislamiento térmico por el exterior-interior se plantea como la medida más eficiente energéticamente, corrigiendo puentes térmicos. El espesor de aislamiento con el que se han modelado los edificios en estado rehabilitado es de 12 cm, puesto que se ha comprobado que a mayor espesor el resultado de ahorro energético y económico no es directamente proporcional. Si se hubiese, por ejemplo, aplicado un aislamiento de 20 cm aunque este se habría amortizado económicamente sería gracias a los 10 o 12 primeros centímetros no siendo amortizable los otros 10-8 cm, puesto que la diferencia de ahorro así conseguida es mínima.

A lo largo de este trabajo se ha observado como con una inversión de 10.893,40 euros correspondiente a la adición de aislamiento térmico en el exterior de la fachada del bloque de viviendas, se obtienen ahorros energéticos de un 23,25% que se traducen en ahorros de 1.201,67 euros anuales con plazo de amortización de 9 años. Muy superiores son los ahorros que se producen con la misma medida de mejora (en este caso el aislamiento es por el interior) en la vivienda unifamiliar, pues con una inversión de 5.905,20 euros y un plazo de amortización de 5 años, obtenemos ahorros de un 52,20% traducidos a 1.381,66 euros anuales.

La segunda medida que mayores ahorros energéticos y económicos produce es la MED_ER01 correspondiente a la sustitución de la carpintería exterior existente. Genera un 21,83 % de ahorro energético en el caso del bloque de viviendas con una inversión de 11.403,44 euros, ofreciendo un plazo de amortización de 10 años.

El ahorro energético que se produce con esta medida en el caso de la vivienda unifamiliar es muy inferior, siendo este de 8,25% con una inversión de 4.764,48 euros. Si se analiza el elemento por separado, la reducción de las pérdidas a través de las ventanas se redujo un



86,63 %. El motivo por el cual esta reducción tiene poca consideración en el resultado global (8,25%) es porque al actuar puntualmente en ese elemento se produce un aumento de demandas energéticas en otros elementos puesto que las pérdidas que se producían por la carpintería ahora se

reparten por el resto de componentes. Como se observa en el gráfico, las demandas en estado rehabilitado aumentan en el cerramiento exterior, en los puentes térmicos. En este caso, la sustitución de la carpintería sería aconsejable que se hiciese conjuntamente con la MED_ER03 (aislamiento por el interior del cerramiento) y no como medida puntual.

En este trabajo se han ido aplicando las medidas de mejora por separado pudiendo así apreciar cual es la que mayores ahorros aporta, pero es importante que en una rehabilitación se prime un conjunto de medidas que influya en la mayor parte de la envolvente ya que si sólo se actúa de manera local sucede lo comentado en el párrafo anterior.

Si se aplica el paquete de medidas propuestas se logra reducir las demandas un 37,25% en el caso de la vivienda unifamiliar con una inversión de 145,43 €/m² y un 70,7% en el caso del bloque de viviendas con una inversión de 127,15 €/m².

8.2. CONCLUSIÓN FINAL

Mediante este TFM se ha querido mostrar que la incorporación de criterios energéticos en la rehabilitación de la envolvente se amortiza de manera casi inmediata a partir de los ahorros generados, produciendo grandes beneficios ambientales, económicos y sociales. Con los ejemplos realizados en este TFM queda patente que la rehabilitación energética:

- Contribuye a reducir la denominada "pobreza energética" pues como hemos visto obtenemos importantes reducciones de demanda energética.
- Ahorro de dinero. Ha quedado patente que no es un gasto, sino una inversión con un plazo corto de amortización en algún caso.
- Combate la contaminación. La rehabilitación energética supone un descenso del consumo energético y por lo tanto de sus consecuencias para el medio ambiente. La Organización Conservacionista señala en un informe de 2012 que llevar a cabo medidas como las propuestas en este trabajo en 400.000 inmuebles al año evitaría la emisión de ocho millones de toneladas de CO₂.
- Revaloriza la vivienda. Una vivienda que permita mantener un confort y una mejor calidad de vida con un consumo de energía bajo hace que esta sea más competitiva frente a otros inmuebles.
- Otro punto importante es su contribución a la creación de empleo. Diversos informes aseguran que rehabilitar entorno a los 2,3 millones de viviendas con pobreza energética en España generaría unos 35.000 puestos de trabajo.

9. BIBLIOGRAFÍA

9.1. Libros, documentos, normativas y manuales de usuario

- Código técnico de la edificación. Documento Básico HE - Ahorro de energía.
 - HE1 - Limitación de demanda energética.
 - HE3 - Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
 - HE4 - Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
 - HE5 - Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.
- Comunidad de Madrid. (2011). *Guía el estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo*. Madrid.
- Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*.
- Directiva 2006/32/CE del Parlamento europeo y del Consejo, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.
- Directiva 2002/91/CE del Parlamento europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Derogada a partir del 1 de febrero de 2012 por la Directiva 2010/31/UE.
- Francisco Javier, R. M. y Eloy, V. (2008), *Eficiencia Energética en Edificios. Certificación y auditorías energéticas*.
- Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (2008); *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Ministerio de Vivienda, Gobierno de España*.
- Manual de usuario aplicación informática LIDER.
- Manual de usuario aplicación informática CALENER VYP.
- Moreno Domingo Javier. (2011). *Evaluación energética de los puentes térmicos en edificación*.
- Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes.
- Real Decreto 47/2007 por el que se aprueba el *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción*.
- Sole, J. (2007), *Aislamiento térmico en la edificación, Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Tarragona.
- UNE-EN- 12207 : *Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación*.
- UNE-EN- 14683 : *Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto*.
- UNE-EN-ISO 10077 : *Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica*.

- UNE-EN-ISO 10211 : *Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados.*
- UNE-EN-ISO 6946 : *Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo.*

9.2. Fuentes electrónicas

- Decreto de ecoeficiencia 21/2006 (Consultada el 12/12/2014)
<http://www.medioambient.gencat.cat>
- Departamento Energía UNED (Consultada el 20/02/2015)
<http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/usos.htm#usos>
- Josep Sole Bonet (2009). Herramientas simples basadas en hojas de cálculo que sean una ayuda para otros usuarios. (Consultada el 15/04/2015)
<http://www.telefonica.net/web2/josepsoblebonet/>
- INE. Instituto Nacional de Estadística (Consultada el 10/11/2014) <http://www.ine.es>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (Consultada el 15/04/2015)
(IDAE):<http://www.idae.es/>
- Isover. Eficiencia Energética y confort en los climas cálidos. (Consultada el 15/06/2015)
<http://www.isover.es>
- Portal Libre y gratuito sobre construcción (Consultada el 18/05/2015)
<http://www.konstruir.com/>
- Pladur (Consultada el 13/05/2015):<http://www.pladur.es/>
- Thermochip(Consultada el 14/04/2015): <http://www.thermochip.es/>
- Knauf(Consultada el 07/05/2015): <http://www.knaufinsulation.es/>
- De Dietrich(Consultada el 07/05/2015): <http://www.de-dietrich.com/>
- Soleco(Consultada el 12/04/2015): <http://www.soleco.com/>
- Saint Gobain(Consultada el 03/04/2015): <http://es.saint-gobain-glass.com>
- Solo arquitectura(Consultada el 22/04/2015): <http://www.soloarquitectura.com/foros/>
- Código Técnico de la Edificación(Consultada el 18/04/2015): <http://www.codigotecnico.org/>
- Método Ce2(Consultada el 17/05/2015): <http://www.andima.es/>
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio(Consultada el 19/04/2015): <http://www.mityc.es/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes (ANDIMAT) (Consultada el 20/05/2015) <http://www.andima.es/>

10. ANEXOS

10.1. PUENTES TÉRMICOS

Los puentes térmicos son zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., lo que conlleva necesariamente una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos. Los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en la situación de invierno o épocas frías³⁸.

Los puentes térmicos introducidos en el presente TFM han sido modelados conforme a la normativa ISO 10211:2007 mediante el programa Therm. Se han estudiado cuatro casos: forjado-fachada, cubierta fachada, solera-fachada, esquina exterior.

El procedimiento seguido en el cálculo de los PT viene explicado en el artículo que recoge la web de **ecoeficiente.es** y que paso a describir a continuación:

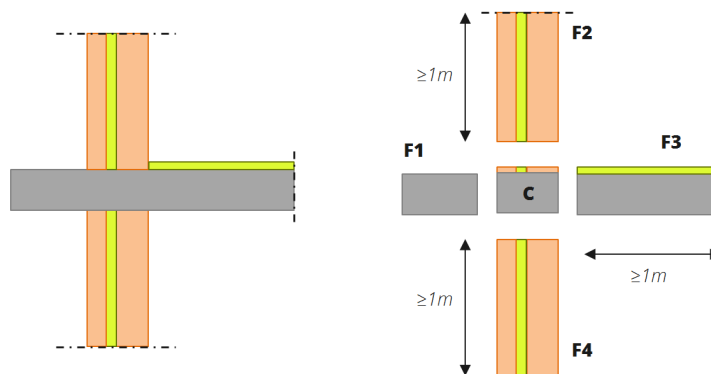
1. Modelado geométrico

El modelo geométrico consta del elemento central bidimensional, los elementos de flanco bidimensionales y, en su caso, el terreno. El modelo geométrico está delimitado por los planos de corte.

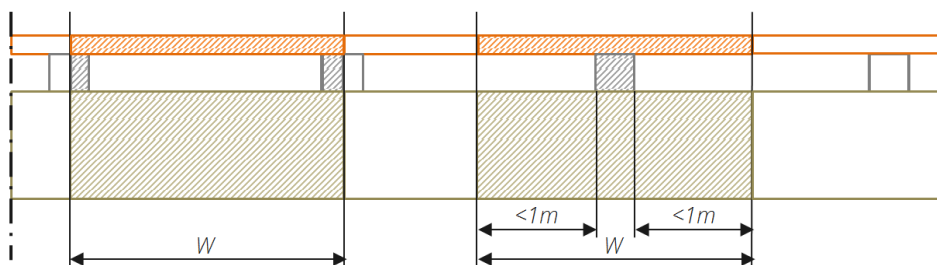
Los planos de corte deben posicionarse como sigue:

- A 1 metro (o 3 veces el espesor del cerramiento si es mayor) al menos del elemento central si no hay un plano de simetría más cercano.

³⁸ Definición obtenida en Construmática <http://www.construmatica.com>. Fecha actualización 02/08/2015



- A un plano de simetría si hay menos de 1 metro del elemento central.



- En el terreno de acuerdo con la tabla

Dirección	Distancia al elemento central	
	Cálculos de temperatura superficial	Cálculos de flujo térmico y temperatura superficial
Distancia horizontal al plano vertical, dentro del edificio	Al menos tres veces el espesor del muro	$0,5 \cdot b$
Distancia horizontal al plano vertical, fuera del edificio	Al menos tres veces el espesor del muro	$2,5 \cdot b$
Distancia vertical al plano horizontal bajo el nivel del terreno	Al menos 3 metros	$2,5 \cdot b$
Distancia vertical al plano horizontal bajo el nivel del terreno (se aplica sólo si el nivel del suelo considerado está a más de 2m bajo el nivel del terreno)	Al menos 1 metro	$2,5 \cdot b$

2. Condiciones de contorno

Temperatura

Como temperaturas de contorno se establecerán valores típicos como 20°C en el interior y 0°C en el exterior.

Resistencia superficial interior

Las resistencias superficiales de las superficies interiores R_{si} serán:

Flujo horizontal o no se tiene seguridad de la dirección del flujo: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Flujo vertical ascendente: $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Flujo vertical descendente: $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Resistencia superficial exterior

La resistencia superficial exterior será:

$$\bullet R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Planos de corte

La condición de contorno en los planos de corte será adiabática (flujo de calor nulo).

1. Propiedades de los materiales

La conductividad de los materiales se calculará conforme a la ISO 10456, o se tomará de valores tabulados como la ISO 10456 ó el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación.

La conductividad del terreno se tomará como 2,0 W/m·K.

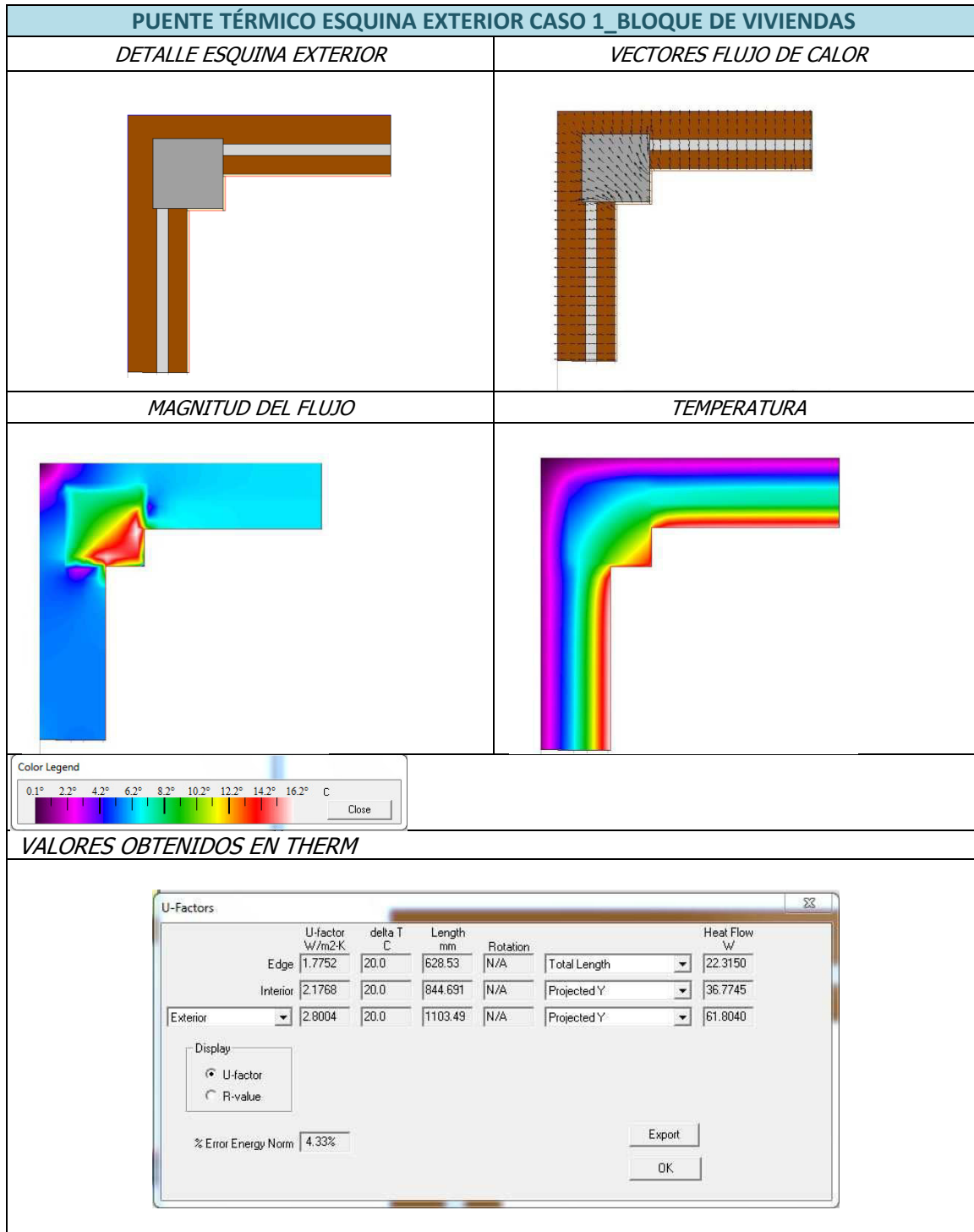
2. Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente Ψ

Para el cálculo de las transmitancias térmicas lineales de los PT se empleará la siguiente fórmula:

$$\Phi(W) = \sum_{i=0}^n U_i A_i \cdot \Delta T$$

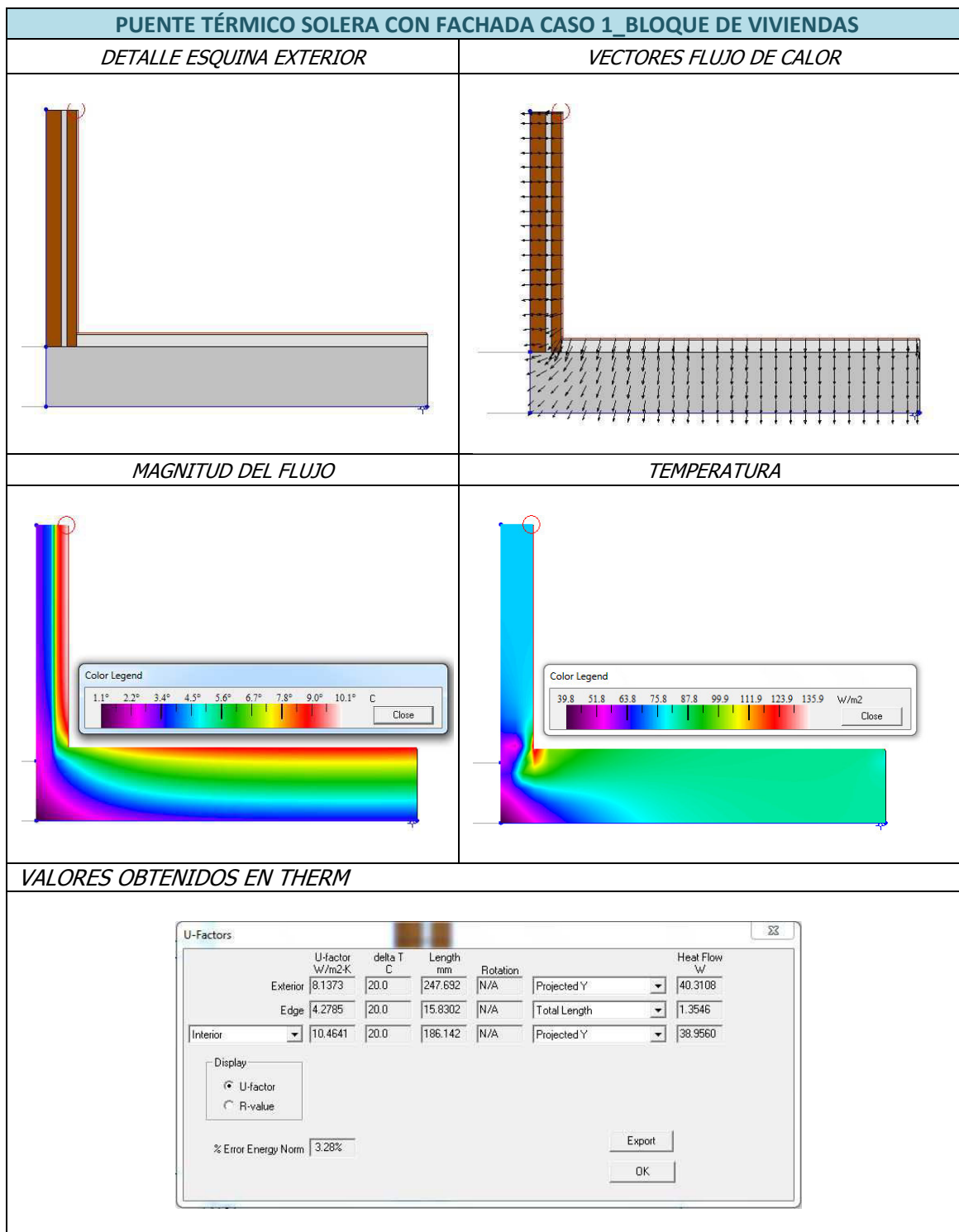
10.1.1. Puentes térmicos Estado Actual

A continuación de muestra parte de los puentes térmicos contemplados en este TFM:



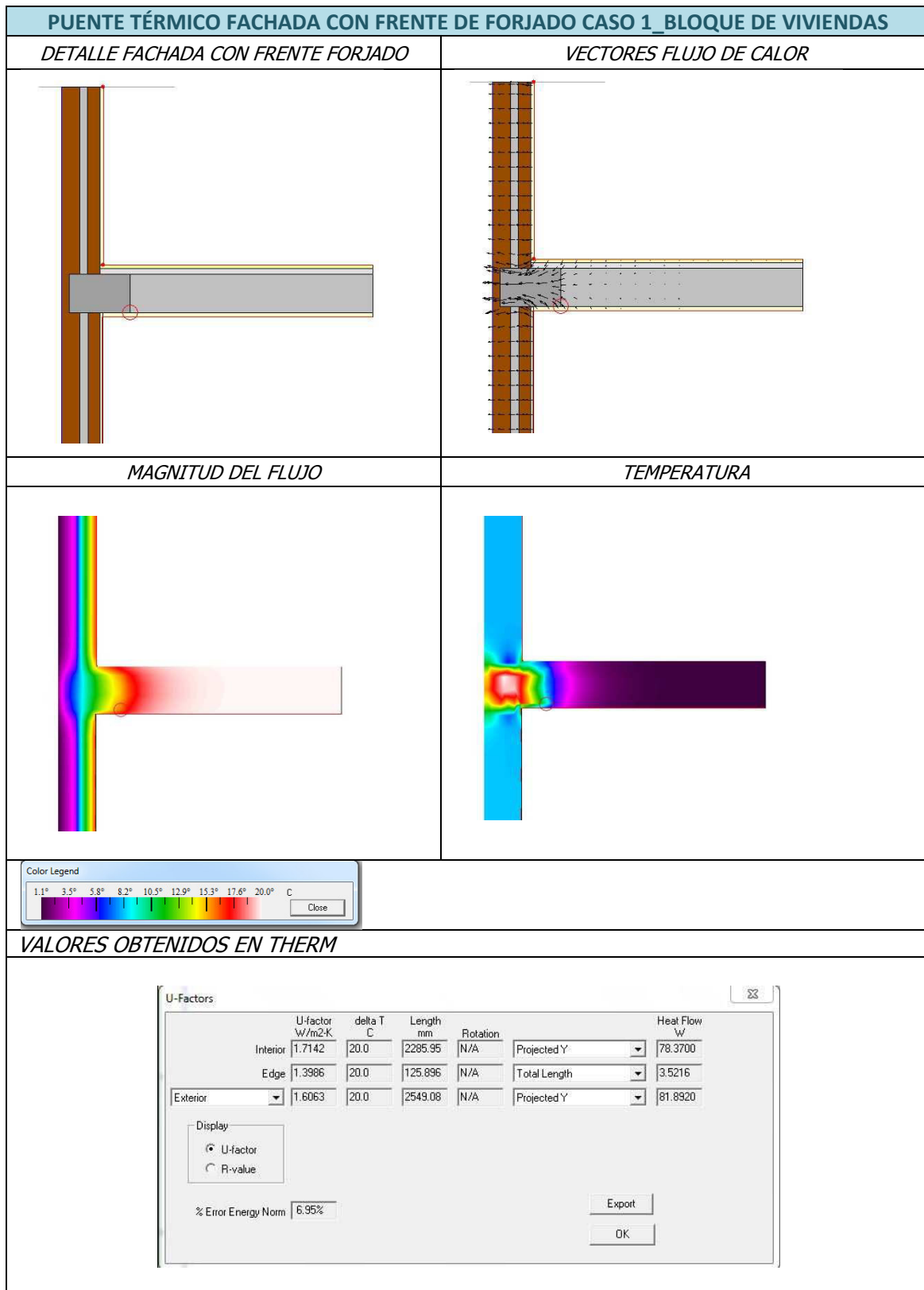
$$\Psi_{\text{EXTERIOR}} = \left(\frac{61,804}{20} \right) - (1,7752 \times 2,23) = -0,868 \text{ W/mK}$$

$$\Psi_{\text{INTERIOR}} = \left(\frac{61,804}{20} \right) - (1,7752 \times 1,709) = 0,056 \text{ W/mK}$$



$$\Psi_{\text{EXTERIOR}} = \left(\frac{40,31}{20} \right) - (4,27 \times 2,10) = - 0,753 \text{ W/mK}$$

$$\Psi_{\text{INTERIOR}} = \left(\frac{40,31}{20} \right) - (4,27 \times 1,509) = 1,074 \text{ W/mK}$$



$$\Psi_{\text{EXTERIOR}} = \left(\frac{81,8920}{20} \right) - (1,7142 \times 2,55) = - \mathbf{0,277 \text{ W/mK}}$$

$$\Psi_{\text{INTERIOR}} = \left(\frac{81,8920}{20} \right) - (1,7142 \times 1,85) = \mathbf{1,291 \text{ W/mK}}$$

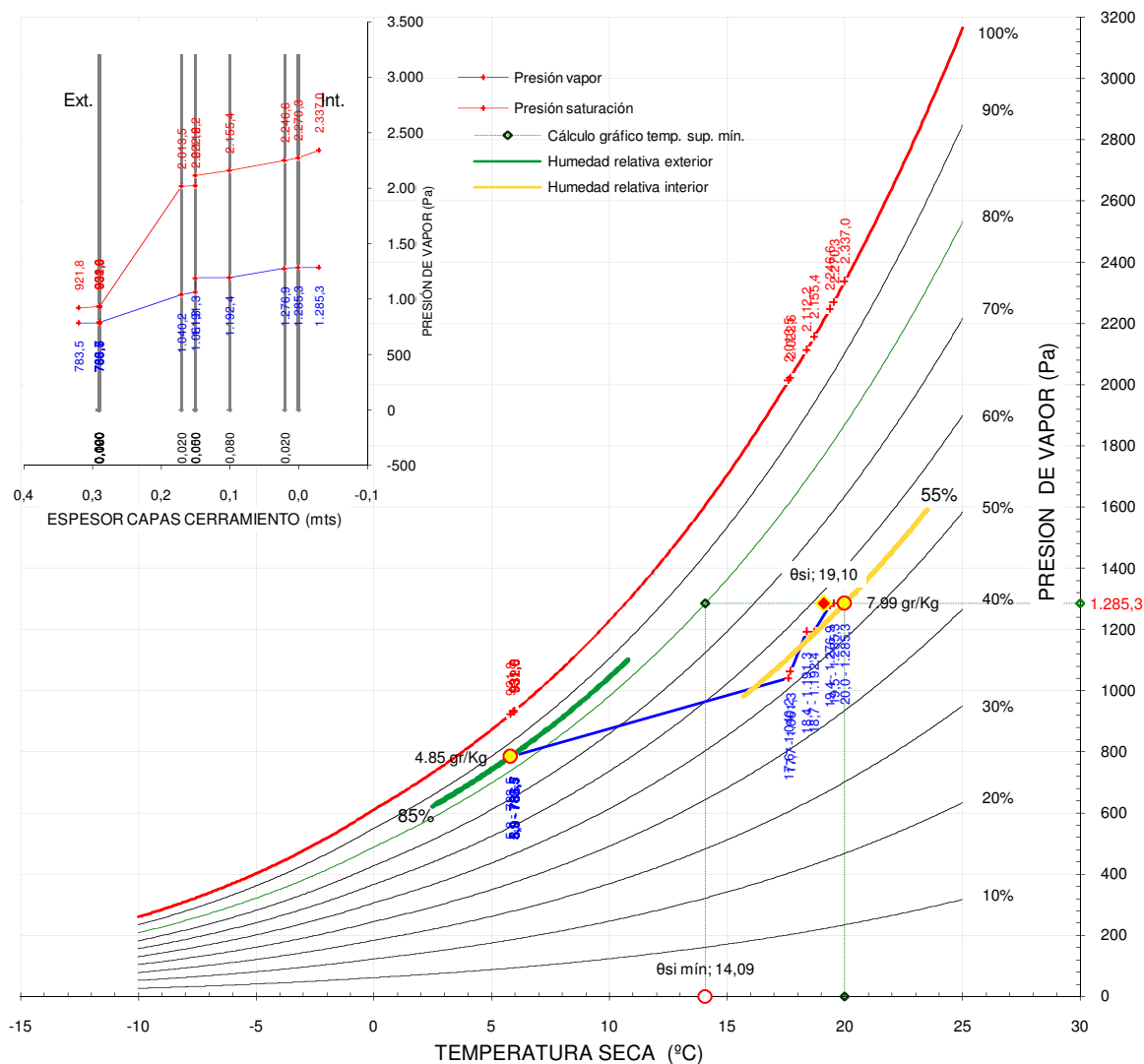
10.2. CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS

10.2.1. MED_ER02_Adiición de aislamiento térmico por el exterior_Caso 1: Bloque de viviendas

A continuación se adjuntan las fichas correspondientes al cálculo higrotérmico consistente en los siguientes gráficos:

- **Variación de las presiones de vapor del cerramiento sobre el ábaco psicrométrico**
- **Comparación de presiones de vapor por espesor de aire equivalente**
- **Comparación de temperaturas real y de rocío por resistencia térmica**
- **Comparación de temperaturas real y de rocío por espesor de hojas del cerramiento**
- **Comparación de presiones de vapor por espesor de hojas del cerramiento**

VARIACIÓN DE LAS PRESIONES DE VAPOR DEL CERRAMIENTO SOBRE EL ÁBACO PSICROMÉTRICO



Condiciones ambientales del cerramiento

Humedad relativa interior	55%
Temperatura interior °C	20
Humedad relativa exterior	85%
Temperatura exterior °C	5,8

Composición cerramiento

Composición cerramiento	Espesor (m)
YESO ALTA DUREZA 900<D<1200	0,020
TABICÓN LHD 60<E<90 MM	0,080
CÁMARA VERT. LIGERAM. VENTIL. 5 CM	0,050
1/2 PIE LP 40<G<60 MM	0,123
MORTERO DE CEMENTO Y ARENA	0,020
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.037	0,120
MORTERO DE ÁRIDOS LIGEROS (VERMICULITA, PEI)	0,003

Tipo, dirección y sentido del flujo:

FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR

- No existe riesgo de proliferación de hongos: $f_{RSi} > f_{RSi, \min}$
- No existe riesgo de condensación intersticial en el cerramiento

A Coruña, 28 agosto 2015

$$f_{RSi} = 0,938$$

$$f_{RSi, \min} = 0,584$$

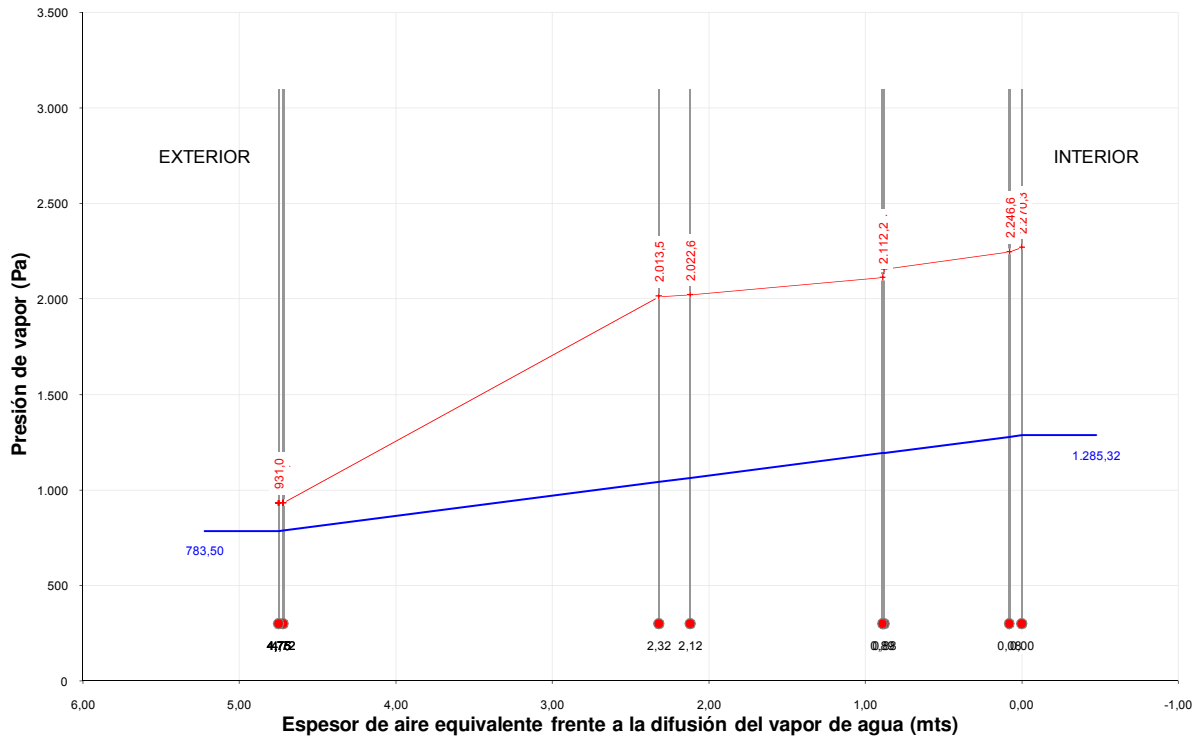
$$U = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U_{\max} = 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

COATIE AC

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

PRESIÓN DE VAPOR - PRESIÓN DE SATURACIÓN



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m ² K
f _{Rsi} =	0,938	
f _{Rsi, min} =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
- Yeso alta dureza 900<d<1200	2,0 cms.
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	8,0 cms.
- Cámara vert. ligeram. ventil. 5 cm	5,0 cms.
- 1/2 Pie LP 40<G<60 mm	12,3 cms.
- Mortero de cemento y arena	2,0 cms.
- EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
- Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita)	0,3 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

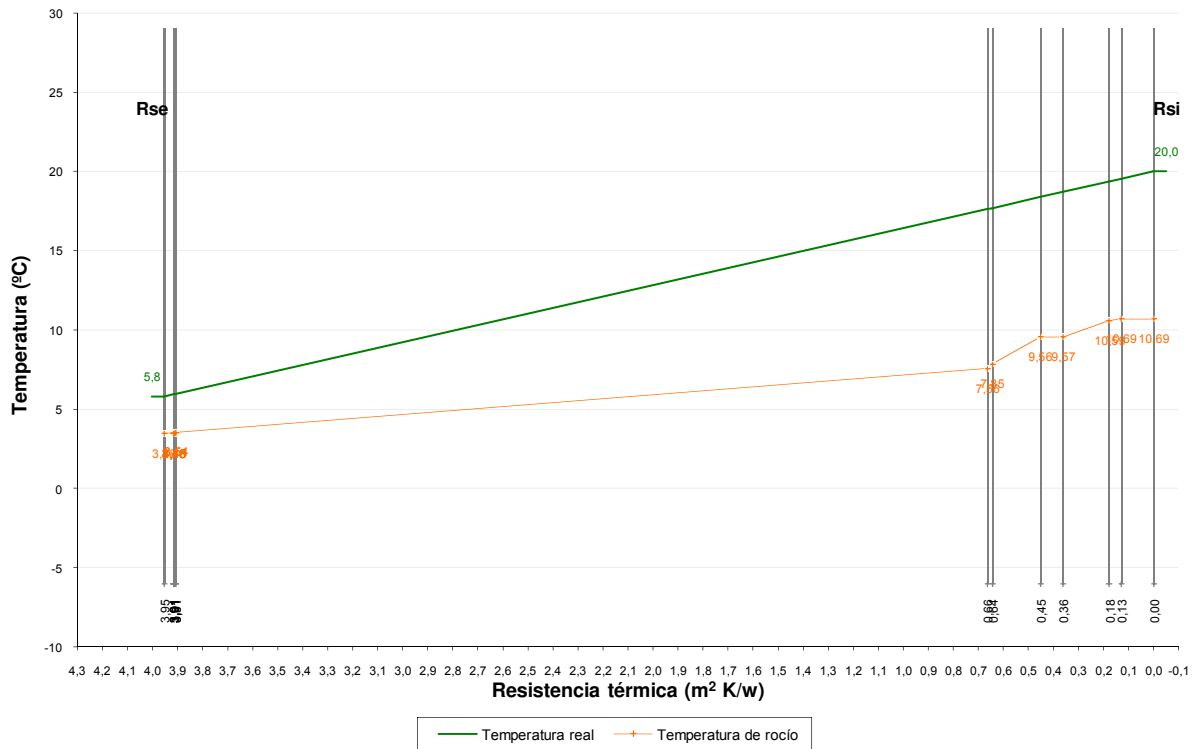
No se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho f_{Rsi} > f_{Rsi, mín}

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

TEMPERATURA - RESISTENCIA TÉRMICA



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m² K
f _{Rsi} =	0,938	
f _{Rsi, min} =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
Yeso alta dureza 900<d<1200	2,0 cms.
Tabicón LHD 60<E<90 mm	8,0 cms.
Cámara vert. ligeram. ventil. 5 cm	5,0 cms.
1/2 Pie LP 40<G<60 mm	12,3 cms.
Mortero de cemento y arena	2,0 cms.
EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita)	0,3 cms.

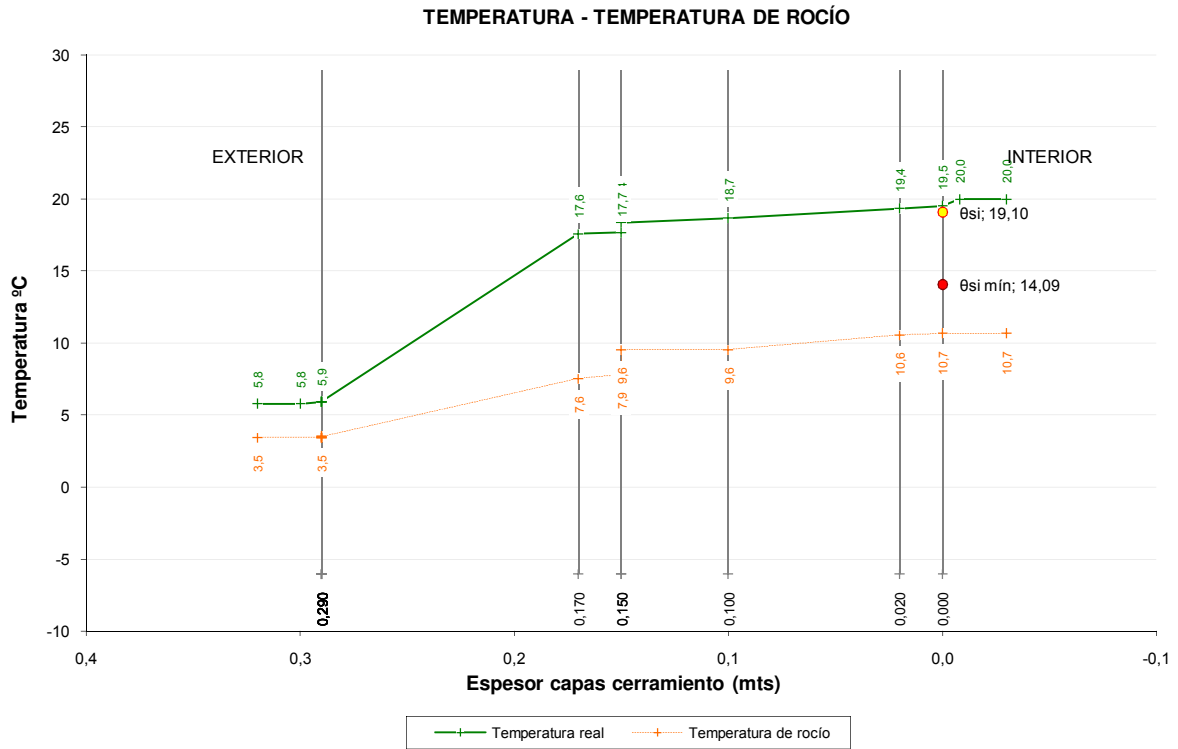
Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

No se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho f_{Rsi} > f_{Rsi, min}

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

$$U = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$f_{Rsi} = 0,938$$

$$f_{Rsi, \min} = 0,584$$

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
Yeso alta dureza 900<d<1200	2,0 cms.
Tabicón LHD 60<E<90 mm	8,0 cms.
Cámara vert. ligeram. ventil. 5 cm	5,0 cms.
1/2 Pie LP 40<G<60 mm	12,3 cms.
Mortero de cemento y arena	2,0 cms.
EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita)	0,3 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrótérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

No se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho $f_{Rsi} > f_{Rsi, \min}$

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

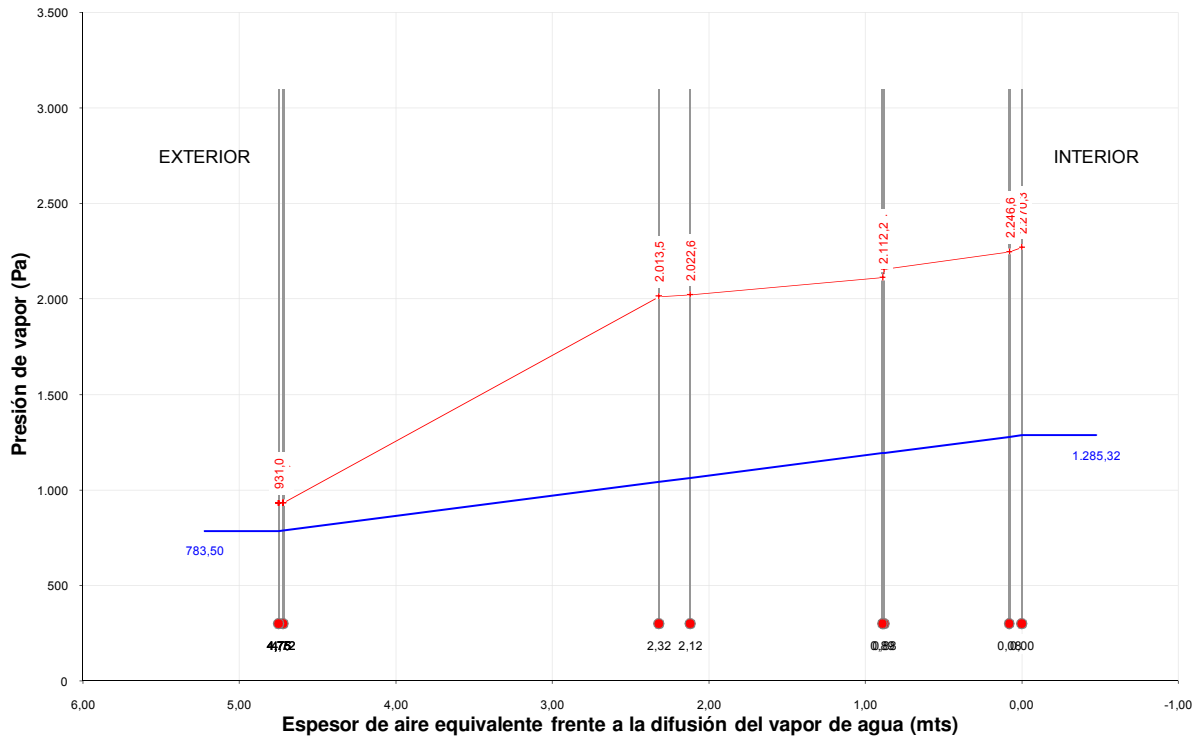
Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

Observaciones:

- La humedad relativa en la superficie interior del cerramiento, a efectos del cálculo de f_{Rsi} , es del 58,15 %

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

PRESIÓN DE VAPOR - PRESIÓN DE SATURACIÓN



— Presión vapor — Presión saturación

CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m ² K
f _{Rsi} =	0,938	
f _{Rsi, min} =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
- Yeso alta dureza 900<d<1200	2,0 cms.
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	8,0 cms.
- Cámara vert. ligeram. ventil. 5 cm	5,0 cms.
- 1/2 Pie LP 40<G<60 mm	12,3 cms.
- Mortero de cemento y arena	2,0 cms.
- EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
- Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita)	0,3 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

No se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho f_{Rsi} > f_{Rsi, min}

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

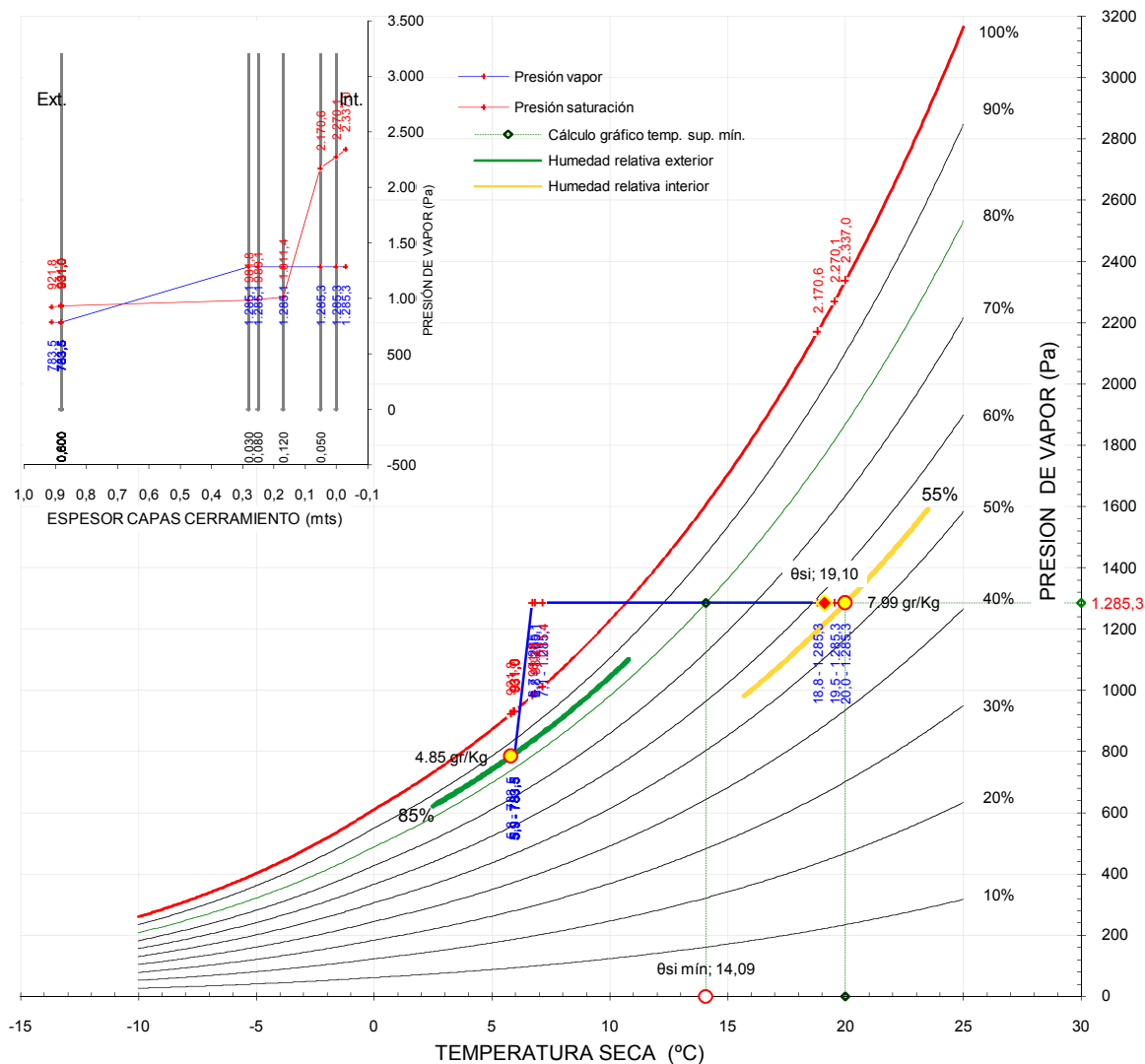
Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

10.2.2. MED_ER03_Adiición de aislamiento térmico por el interior_Caso 2: Vivienda unifamiliar

A continuación se adjuntan las fichas correspondientes al cálculo higrotérmico consistente en los siguientes gráficos:

- **Variación de las presiones de vapor del cerramiento sobre el ábaco psicrométrico**
- **Comparación de presiones de vapor por espesor de aire equivalente**
- **Comparación de temperaturas real y de rocío por resistencia térmica**
- **Comparación de temperaturas real y de rocío por espesor de hojas del cerramiento**
- **Comparación de presiones de vapor por espesor de hojas del cerramiento**

VARIACIÓN DE LAS PRESIONES DE VAPOR DEL CERRAMIENTO SOBRE EL ÁBACO PSICROMÉTRICO



Condiciones ambientales del cerramiento

Humedad relativa interior	55%
Temperatura interior °C	20
Humedad relativa exterior	85%
Temperatura exterior °C	5,8

Composición cerramiento

Composición cerramiento	Espesor (m)
PLACA DE YESO O ESCAYOLA 750<D<900	0,050
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.037	0,120
CÁMARA VERT. LIGERAM. VENTIL. > 5 CM	0,080
MORTERO DE CEMENTO Y ARENA	0,030
GRANITO	0,600

Tipo, dirección y sentido del flujo:

FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR

- No existe riesgo de proliferación de hongos: $f_{RSi} > f_{RSi, \text{mín}}$

- Existe riesgo de condensación intersticial en el cerramiento

$$f_{RSi} = 0,938$$

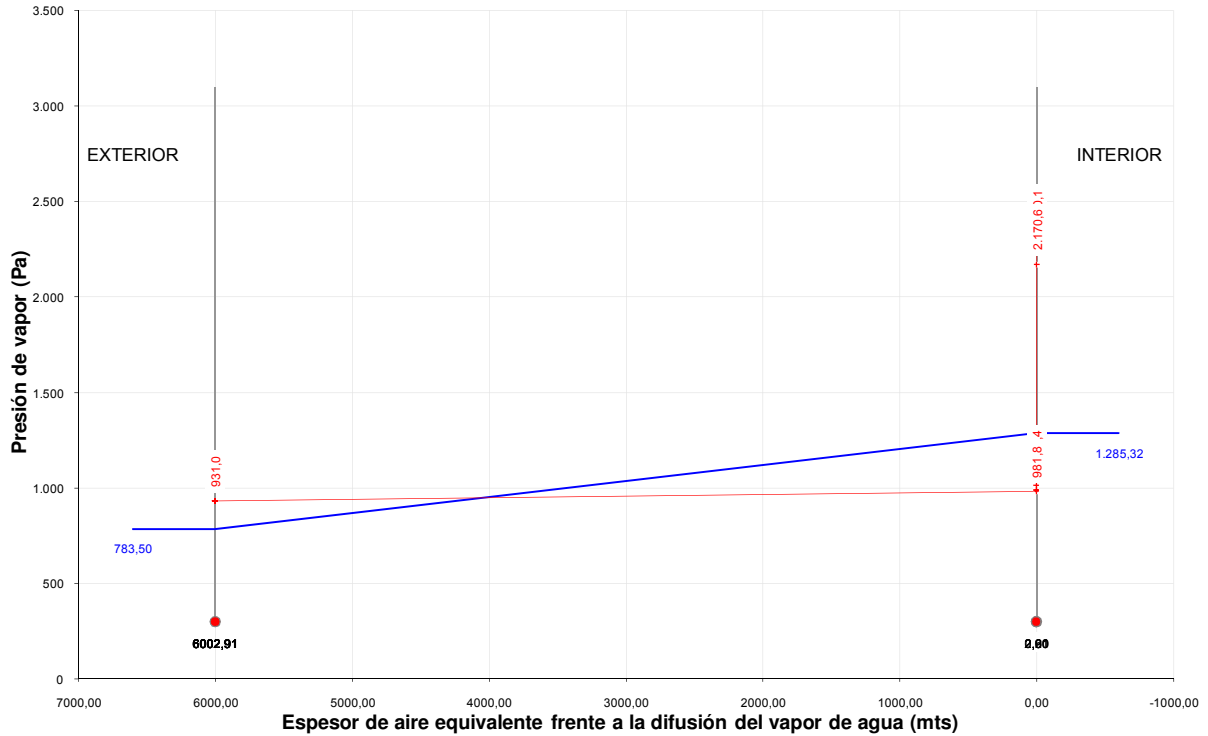
$$f_{RSi, \text{mín}} = 0,584$$

$$U = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U_{\text{máx}} = 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

PRESIÓN DE VAPOR - PRESIÓN DE SATURACIÓN



— Presión vapor — Presión saturación

CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m ² K
f _{Rsi} =	0,938	
f _{Rsi, min} =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
- Placa de yeso o escayola 750<d<900	5,0 cms.
- EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
- Cámara vert. ligeram. ventil. > 5 cm	8,0 cms.
- Mortero de cemento y arena	3,0 cms.
- Granito	60,0 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

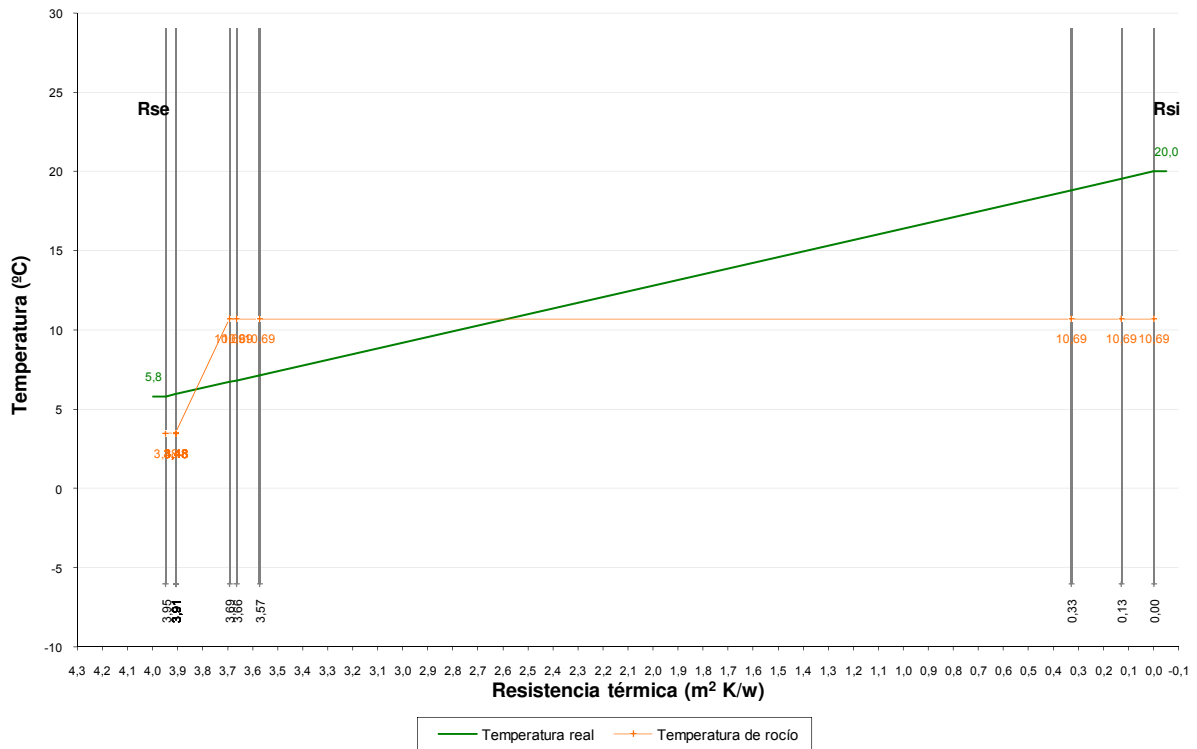
Se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho f_{Rsi} > f_{Rsi, min}

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

TEMPERATURA - RESISTENCIA TÉRMICA



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m² K
f_{Rsi} =	0,938	
$f_{Rsi, min}$ =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
Placa de yeso o escayola 750<d<900	5,0 cms.
EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
Cámara vert. ligeram. ventil. > 5 cm	8,0 cms.
Mortero de cemento y arena	3,0 cms.
Granito	60,0 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

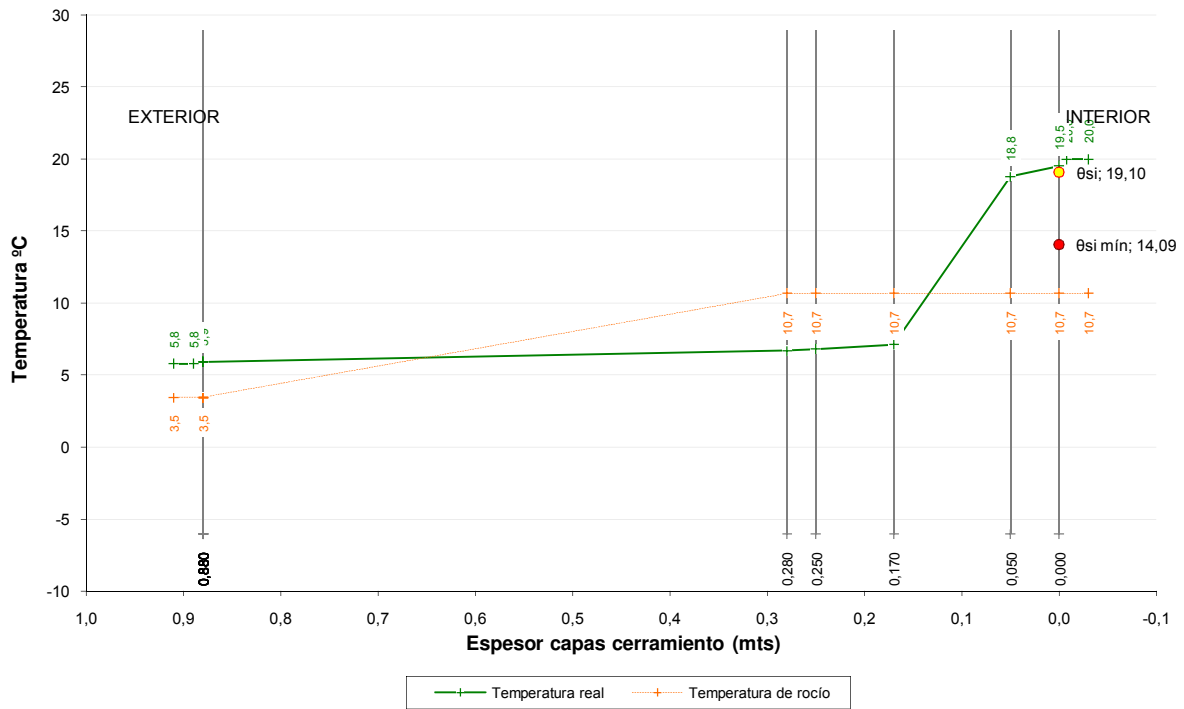
Se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho $f_{Rsi} > f_{Rsi, min}$

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

TEMPERATURA - TEMPERATURA DE ROCÍO



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

$$U = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$f_{Rsi} = 0,938$$

$$f_{Rsi, \min} = 0,584$$

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
Placa de yeso o escayola 750<d<900	5,0 cms.
EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
Cámara vert. ligeram. ventil. > 5 cm	8,0 cms.
Mortero de cemento y arena	3,0 cms.
Granito	60,0 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrótérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

Se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho $f_{Rsi} > f_{Rsi, \min}$

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**

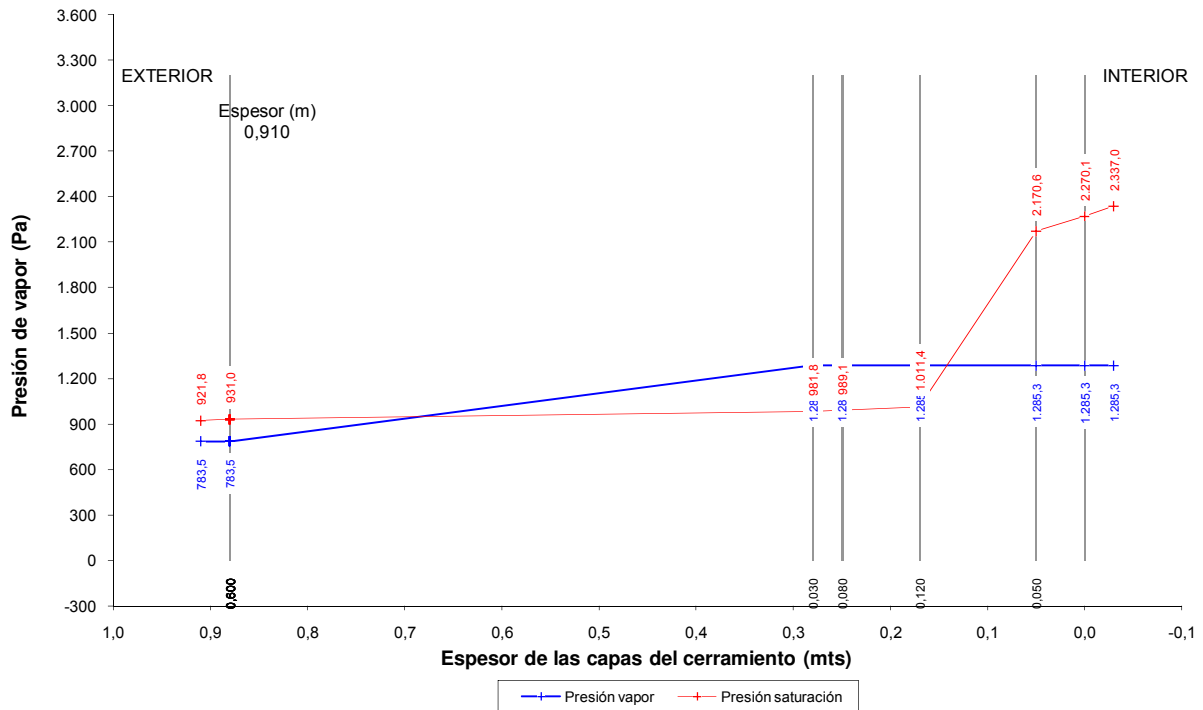
Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

Observaciones:

- La humedad relativa en la superficie interior del cerramiento, a efectos del cálculo de f_{Rsi} , es del 58,16 %

INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN EL CERRAMIENTO

PRESIÓN DE VAPOR - PRESIÓN DE SATURACIÓN



CONDICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	20,0
HUMEDAD RELATIVA	55%

CONDICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA (°C)	5,8
HUMEDAD RELATIVA	85%

U =	0,25	W/m ² K
f _{Rsi} =	0,938	
f _{Rsi, min} =	0,584	

Tipo, dirección y sentido del flujo de calor: **FLUJO HORIZONTAL CON EL EXTERIOR**

Composición del cerramiento de dentro a fuera:

Material	Espesor
- Placa de yeso o escayola 750<d<900	5,0 cms.
- EPS Poliestireno expandido 0.037	12,0 cms.
- Cámara vert. ligeram. ventil. > 5 cm	8,0 cms.
- Mortero de cemento y arena	3,0 cms.
- Granito	60,0 cms.

Como se puede observar, para las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores anteriormente expuestas:

Se produce CONDENSACIÓN INTERSTICIAL en el cerramiento
No existe riesgo de formación de moho f_{Rsi} > f_{Rsi, min}

Localidad: **Outeiro de Rei - Lugo (altitud sobre la capital 2 mts)**
 Higrometría: **Humedad relativa constante: 55 %**

10.3. MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

A continuación se adjuntan las mediciones y presupuestos de las medidas de mejora propuestas en este TFM.

CASO 1: BLOQUE DE VIVIENDAS

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 04 MED_ER05: ADICION DE AISLAMIENTO EN CUBIERTA									
04.01.03	<p>m² AISLAMIENTO EPS 150mm</p> <p>Aislamiento térmico den cubierta inclinada con EPS de 150mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado., p.p. de corte y colocación.</p>						160,20	62,00	9.932,40
04.01.02	<p>m² CUBIERTA TEJA</p> <p>Cubierta formada con tabicones aligerados de ladrillo H/D, recibidos con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6 (M-5) y separados 1 m. con maestra superior del mismo mortero, arriostrados transversalmente cada 2 m. aproximadamente según desnivel, para una altura media de 1 m. de cubierta, tablero machihembrado de 100x30x4 cm., capa de compresión de 30 mm. de idéntico mortero y teja cerámica curva roja de 40x19 cm. recibida con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/8 (M-2,5), i/p.p. de limas, caballetes, emboquillado, remates, piezas especiales (tejas de ventilación,...), medios auxiliares y elementos de seguridad, medida en proyección horizontal. Según DB-HS y RC-08.</p>						160,20	10,00	1.602,00
04.01.01	<p>m2 DEMOL.CUB.TEJA CERÁMICA CURVA</p> <p>Demolición de cubrición cubierta existente, incluidos caballetes, limas, canalones, remates laterales, encuentros con paramentos, etc., por medios manuales y sin aprovechamiento del material desmontado, incluso limpieza y retirada de escombros a pie de carga, sin transporte al vertedero, y con p.p. de medios auxiliares.</p>						160,20	7,87	1.260,77
<p>TOTAL CAPÍTULO 04 MED_ER05: ADICION DE AISLAMIENTO EN CUBIERTA.....</p>									<p>12.795,17</p>

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 MED_ER04: ADICION DE AISLAMIENTO EN FORJADO NH									
03.01.01	AISLAMIENTO TERMICO EN FORJADO EN CONTACO CON ESPACIO NO HABITAB								
	Aislamiento térmico de techos con EPS de 150mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m ³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado., p.p. de corte y colocación.								
							150,00	62,00	9.300,00
	TOTAL CAPÍTULO 03 MED_ER04: ADICION DE AISLAMIENTO EN FORJADO NH.....								9.300,00

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02 MED_ER02: ADICIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR									
02.01	m² SISTEMA SATE FACHADA								
	Instalación de Sistema SATE con panel rígido de poliestireno expandido, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de 150 mm de espesor, color blanco, conductividad térmica 0,034 W/(mK), densidad 15-18 kg/m³. Mortero para la fijación y el revestimiento de los paneles i/malla d fibra de vidrio, de 3,7x4,3 mm de luz, antiálcalis, de 145 g/m², para refuerzo del mortero en el sistema de aislamiento por el exterior. Aplicación de ortero acrilico de 2 a 3 mm de espesor acabado grueso, para revestimiento de paramentos exteriores, compuesto por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos.								
							1,00	10.893,40	10.893,40
	TOTAL CAPÍTULO 02 MED_ER02: ADICIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR.....								10.893,40

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 MED_ER01: CARPINTERÍA PVC y DOBLE ACRISTALAMIENTO									
1.2	Ventana PVC 1,25x1,50m								
							1,00	493,83	493,83
1.1	Ventana PVC 1,25x2,00m								
							1,00	10.909,61	10.909,61
TOTAL CAPÍTULO 01 MED_ER01: CARPINTERÍA PVC y DOBLE ACRISTALAMIENTO.....									11.403,44
TOTAL.....									44.392,01

CASO 2:VIVIENDA UNIFAMILIAR

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 04 MED_ER05: ADICION DE AISLAMIENTO EN CUBIERTA									
04.01.03	m² AISLAMIENTO EPS 150mm								
	Aislamiento térmico den cubierta inclinada con EPS de 150mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado., p.p. de corte y colocación.								
							60,00	62,00	3.720,00
	TOTAL CAPÍTULO 04 MED_ER05: ADICION DE AISLAMIENTO EN CUBIERTA.....								3.720,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 MED_ER04: ADICION DE AISLAMIENTO EN FORJADO NH									
03.01.01	AISLAMIENTO TERMICO EN FORJADO EN CONTACO CON ESPACIO NO HABITAB								
	Aislamiento térmico de techos con EPS de 150mm de espesor con una conductividad térmica de 0,036 W/mK y una densidad de 18 Kg/m ³ fijado mecánicamente al forjado y revestimiento de acabado., p.p. de corte y colocación.								
							61,12	62,00	3.789,44
	TOTAL CAPÍTULO 03 MED_ER04: ADICION DE AISLAMIENTO EN FORJADO NH.....								3.789,44

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02 MED_ER03: ADICIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL INTERIOR									
02.01	m ² AISLAMIENTO EPS 150mm POR EL INTERIOR								
	Suministro y colocación de aislamiento EPS 150mm de espesor por el interior en cerramiento de muro de mampostería con sistema estructural portante de perfiles de chapa de acero plegados en frío, separándose del muro para formar una cámara. Sobre los perfiles se atornillan las placas de yeso laminado dotadas de paneles de aislamiento térmico.								
							1,00	5.905,20	5.905,20
	TOTAL CAPÍTULO 02 MED_ER03: ADICIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL INTERIOR.....								5.905,20

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 MED_ER01: CARPINTERÍA PVC y DOBLE ACRISTALAMIENTO									
01.01.01	<p>ud VENT. PVC 1,20x1,20 + VIDRIO 4/16/4</p> <p>Ventana de PVC de 120x120 cm., con dos hojas abatibles, con marco de PVC imitación madera, 5cámara de evacuación y cerco interior de perfil de acero. Hoja con refuerzo interior de acero, doble acristalamiento con vidrio 4/16/4 bako emisivo con junta de goma estanca. Capialzado de PVC de 120x16 cm., persiana de PVC y recogedor, herrajes de colgar y seguridad, i/vierteaguas. Totalmente instalada y sellada en obra incluido desmontaje de carpintería existente.</p> <p>U marco=1,30 W/m2K; absort=0,70 U vidrio=1,10W/m2K; factor solar=0,65</p>						4,00	574,19	2.296,76
01.01.02	<p>ud VENT. PVC 0,40x0,80 + VIDRIO 4/16/4</p> <p>Ventana de PVC de 40x80 cm., con marco de PVC imitación madera, 5cámara de evacuación y cerco interior de perfil de acero. Hoja con refuerzo interior de acero, doble acristalamiento con vidrio 4/16/4 bajo emisivo con junta de goma estanca. Capialzado de PVC de 120x16 cm., persiana de PVC y recogedor, herrajes de colgar y seguridad, i/vierteaguas. Totalmente instalada y sellada en obra incluido desmontaje de carpintería existente.</p> <p>U marco=1,30 W/m2K; absort=0,70 U vidrio=1,10W/m2K; factor solar=0,65</p>						2,00	347,88	695,76
01.01.03	<p>ud VENT. PVC 1,20x0,80 + VIDRIO 4/16/4</p> <p>Ventana de PVC de 120x80 cm., con dos hojas abatibles, con marco de PVC imitación madera, 5cámara de evacuación y cerco interior de perfil de acero. Hoja con refuerzo interior de acero, doble acristalamiento con vidrio 4/16/4 bako emisivo con junta de goma estanca. Capialzado de PVC de 120x16 cm., persiana de PVC y recogedor, herrajes de colgar y seguridad, i/vierteaguas. Totalmente instalada y sellada en obra incluido desmontaje de carpintería existente.</p> <p>U marco=1,30 W/m2K; absort=0,70 U vidrio=1,10W/m2K; factor solar=0,65</p>						4,00	442,99	1.771,96
TOTAL CAPÍTULO 01 MED_ER01: CARPINTERÍA PVC y DOBLE ACRISTALAMIENTO.....									4.764,48
TOTAL.....									18.179,12