

**REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES MEDIANTE
DISEÑOS PASIVOS EN SEVILLA**
APROXIMACIÓN A LA DIRECTIVA EUROPEA 2018/844

TFG: GRUPO K

TUTOR: IGNACIO JAVIER ACOSTA GARCÍA

CURSO 2022-23

ALUMNO: JOSE ANTONIO LÓPEZ GÁMIZ



INDICE

1.	Resumen.....	4
2.	Introducción	4
2.1	Contexto general.....	4
2.2	Directiva europea 2018/844	5
2.3	Justificación de la investigación	6
2.4	Objetivos	7
2.4.1	Objetivos generales.....	7
2.4.2	Objetivos específicos.....	7
3.	Metodología	7
3.1	Metodología general del trabajo	7
3.2	Criterios de elección.....	7
3.3	Muestras de estudio.....	8
4.	Estado del arte	9
4.1	Marco constructivo en España desde 1900 a 1979	9
4.2	El caso de Sevilla. Métodos constructivos asociados a la época.....	10
5.	Análisis de la envolvente térmica.....	13
5.1	Edificio 1. Barriada de Los Pajaritos	13
5.1.1	Sistemas constructivos.....	14
5.1.1.1	Fachadas.....	14
5.1.1.2	Cubierta	15
5.1.1.3	Huecos.....	15
5.1.2	Análisis de los resultados	16
5.1.3	Soluciones de rehabilitación	19
5.1.4	Propuesta definitiva	25
5.2	Edificio 2. Periferia a la barriada del Plantinar	29
5.2.1	Sistemas constructivos.....	30
5.2.1.1	Fachadas.....	30
5.2.1.2	Cubierta	30
5.2.1.3	Huecos.....	31
5.2.2	Análisis de los resultados	32
5.2.3	Soluciones de rehabilitación	33
5.2.4	Propuesta definitiva	37
5.2.5	Estudio económico y de viabilidad.....	39
5.3	Edificio 3. Barriada del Duque	43
5.3.1	Sistemas constructivos.....	44

5.3.1.1	Fachadas.....	44
5.3.1.2	Cubierta.....	44
5.3.1.3	Huecos.....	45
5.3.2	Análisis de los resultados	46
5.3.3	Soluciones de rehabilitación	48
5.3.4	Propuesta definitiva	50
5.3.5	Estudio económico y de viabilidad.....	51
6.	Conclusiones.....	54
7.	Bibliografía	55
8.	Anexos.....	57
8.1	Cálculo de estanqueidad al aire	57
8.1.1	Edificio 1. Barriada de Los Pajaritos	57
8.1.2	Edificio 2. Periferia a la barriada del Plantinar	58
8.1.3	Edificio 3. Barriada del Duque.....	59

1. Resumen

Durante la época de 1900 a 1979, la normativa constructiva española referida a edificaciones residenciales era muy escueta, prácticamente no generando ningún tipo de limitación en cuanto a demanda energética. Es por ello por lo que el 49% del parque edificatorio español se ha constituido con poco o ningún tipo de aislamiento. En el caso de Sevilla, esto resulta especialmente preocupante, pues este porcentaje asciende hasta el 67%, contando, por tanto, con elementos con gran transmitancia térmica.

Con la finalidad de dar una solución hacia un parque edificatorio sostenible y descarbonizado han surgido normas más restrictivas en cuanto a demanda energética, como es el caso de la nueva directiva europea 2018/844, la cual ha impuesto una reducción de las emisiones de CO₂ en torno al 80-95%, además de una mejora energética de en torno al 27% para edificaciones realizadas antes de 1990.

Por tanto, este trabajo tiene por objetivo el estudio energético de varias edificaciones residenciales de la provincia de Sevilla, evaluando la rentabilidad energética y económica de diferentes soluciones de rehabilitación en la envolvente. Para ello, se ha valorado la influencia de los diferentes elementos que componen a la envolvente de los edificios, tales como fachada, cubiertas y huecos, así como la altura, orientación, superficie vidriada, aislamientos y forma, incluyendo diversos tipos de soluciones y analizando como estas influyen de manera positiva, o no, en la envolvente. Los resultados de la evaluación energética mostraron que el edificio más rentable es aquel que combina una fachada rehabilitada mediante aislamiento exterior, aislamiento en cubierta, sistemas de doble ventana con carpinterías de aluminio con rotura de puentes térmicos y la eliminación de ventanales de suelos a techo, pues estos generan una gran transmitancia, perjudicando gravemente a la demanda energética.

2. Introducción

2.1 Contexto general

En los años 60, Europa estaba en pleno auge en cuanto a su reconstrucción y recuperación económica derivada de la Segunda Guerra Mundial con los llamados 30 años gloriosos, comprendidos de 1945 a 1975. En relación a España, esta se encontraba en un profundo cambio social tras la Guerra Civil Española, pues comenzó un proceso de rechazo hacia la ruptura y el aislamiento y una nueva búsqueda hacia la integración con los países colindantes. Para llevar a cabo dicha búsqueda, se apostó en 1959 por el Plan de Estabilización, el cual contemplaba una batería de medidas destinadas a la estabilización de la economía, apostando especialmente por el comercio internacional.

Estos hechos hicieron que la población española se incrementase y se asentase principalmente en las ciudades, siendo necesario construir numerosas viviendas sociales para satisfacer la demanda del momento, las cuales se constituyeron con poco o ningún tipo de aislamiento en su envolvente, representando actualmente el 42% de todo el parque edificatorio existente español según datos del Catastro.

El caso de Sevilla es especialmente relevante, dado que es la cuarta ciudad con mayor población española y un 48% de su parque edificatorio es anterior a la norma NBE-CT-79, por lo que prácticamente la mitad de estas edificaciones tienen severas limitaciones en cuanto a confort térmico se refiere. Para solventar dicho problema, Europa ha definido una nueva directiva UE 2018/844, en donde trata de mejorar la eficiencia de este tipo de edificaciones y

reducir sus emisiones de efecto invernadero a fin de tener descarbonizado todo el parque edificatorio para 2050.

2.2 Directiva europea 2018/844

Ante las severas carencias de las viviendas plurifamiliares construidas en dicho periodo temporal, la Unión Europea propuso el 19 de junio de 2018 la directiva UE 2018/844, imponiendo compromisos exigentes en cuanto a reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y eficiencia energética se refiere, con el objetivo de establecer un modelo edificatorio sostenible y descarbonizado. En el campo de la edificación, se han propuesto una serie de objetivos sobre el parque edificatorio existente:

- Objetivo 2020:
 - Se propuso una aplicación del plazo para cumplir con las condiciones de ahorro energético establecidas en la Directiva 2010/31/UE, debiendo ahorrar un 1.5% de energía al año.
 - Se establece una reducción de gases de efecto invernadero de un 20% para edificaciones anteriores a 1990 y un 10% para los anteriores a 2005
 - Se pide un 20% de mejora en cuanto a eficiencia energética con respecto a 1990
 - Se fija un 20% en cuotas renovables

- Objetivo 2030:
 - Se establece un compromiso por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos un 40% para las edificaciones anteriores a 1990 y un 30% para las edificaciones anteriores a 2005
 - Aumentar la proporción de energía renovable consumida
 - Conseguir un ahorro energético respecto a 1990 de un 27%
 - Mejorar la seguridad energética, la competitividad y la sostenibilidad de Europa
 - Se establece un 32% de consumo final mínimo de energías renovables

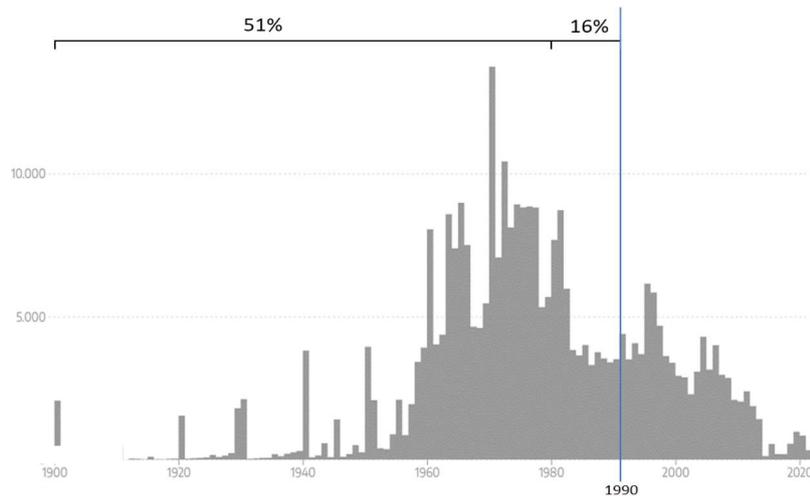
- Objetivo 2050:
 - Introducir sistemas de control y automatización de edificaciones como alternativa a las inspecciones físicas
 - Establecer un umbral de 70 kW de potencia nominal para HVAC
 - Reducción de emisiones en torno a un 80-95% conforme a 1990.

Todos estos objetivos se pueden hacer visibles en el posterior cuadro resumen:

	Objetivo 2020		Objetivo 2030		Objetivo 2050
	Respecto a 1990	Respecto a 2005	Respecto a 1990	Respecto a 2005	Respecto a 1990
Emisiones	-20%	-10%	-40%	-30%	Entre -80% y -95%
Eficiencia energética	20% de ahorro respecto a 1990		27% de ahorro respecto a 1990		

2.3 Justificación de la investigación

Según Catastro, un 51% del parque edificatorio de Sevilla fue construido antes de 1979, momento en el cual no existía ningún tipo de normativa relativa a demanda energética. Incluso posterior a la normativa NBE-CT-79, la demanda exigida era muy inferior a la requerida por Código Técnico, por lo que incorporan muy poco o nada de aislamiento, resultandos ineficientes en cuanto a demanda energética se refiere. Esto se acentúa al conocer que el 85% del parque edificatorio español está conformado por edificios residenciales, de modo que las carencias energéticas son notorias.



Desarrollo edificatorio de Sevilla de 1900 a 2020.¹

Observando más detalladamente el consumo por usos del sector residencial, según fuentes del IDEA observamos que un 41.5% del consumo se destina a calefacción, resultando importante un tratamiento efectivo para solucionar esto.



Estructura del consumo en viviendas por usos. Fuente IDEA

Por tanto, este estudio pretende analizar las condiciones energéticas de varias edificaciones residenciales en la ciudad de Sevilla con el fin de recrear diferentes diseños arquitectónicos y determinar cuáles son los más eficaces para reducir el consumo energético de la envolvente conforme dispone la nueva directiva europea 2018/844.

¹ Grafica desarrollada por Raúl Sánchez, periódico "El diario", 13 de octubre de 2022, https://www.eldiario.es/economia/crecido-ciudad-naciste-mapa-edad-espana-catastro-ano-urbana-edificio_1_8582771.html". Fuente Catastro

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivos generales

- Realizar un estudio de la eficiencia energética de los sistemas constructivos de diversos bloques residenciales de la época anterior a la NBE-CT-79, con la intención de estudiar modelos que sean fácilmente extrapolables a otras edificaciones de la zona con similares soluciones constructivas.

2.4.2 Objetivos específicos

- Realizar evaluaciones sobre eficiencia energética de las envolventes de los edificios existentes en función de su forma, tipos de cerramientos, aislamientos, superficies vidriadas, orientación y altura, tratando de esclarecer los aspectos positivos y negativos de la misma, a fin de determinar unas conclusiones con las que poder realizar rehabilitaciones óptimas.
- Proponer diversos tipos de soluciones constructivas pasivas que mejoren el consumo energético de los edificios conforme dispone la directiva europea 2018/844.

3. Metodología

3.1 Metodología general del trabajo

Para lograr estos objetivos, se han realizado tomas de datos de 3 bloques residenciales plurifamiliares, realizando mediciones y apuntes de los diferentes elementos constructivos. A partir de esto, se han llevado a cabo la generación de planos por medio del software AutoCAD.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, se hará uso de la herramienta IFC Builder, software BIM de Cype, mediante el cual levantaremos el modelo de 3 edificios representativos de la época anterior a la NBE-CT-79. Para ello, se dividirán las fachadas y huecos según su posición y altura, con la idea de evaluar cada una de las orientaciones y ver cuáles son realmente necesarias para su rehabilitación y cuáles no.

Esto se evaluará mediante la herramienta informática Cypetherm HE+, en donde se dispondrá todo lo relativo a la envolvente térmica de los edificios. Con ello, sacaremos los informes de demanda de refrigeración y calefacción, desde donde analizaremos según orientación de cada vivienda la demanda y emisiones requeridas. Gracias a esto averiguaremos los puntos débiles de cada elemento de la envolvente y tomaremos medidas pasivas tratando de reducir el porcentaje de emisiones lo máximo posible, investigando si es posible llegar a lo determinado por la directiva europea.

3.2 Criterios de elección

Para la realización de la investigación, se han escogido muestras que estén realizadas en el momento de mayor auge en la construcción de Sevilla (1960-1980), con diferentes soluciones constructivas y tipologías similares a las construcciones de la época. A partir de estas premisas, se han escogido 3 edificios que puedan ser visitables de cara a realizar tomas de datos y mediciones de los diferentes elementos constructivos. Estos edificios se han tratado de obtener en diferentes ubicaciones para observar también la influencia del edificio en su entorno, por lo que se ha elegido un edificio en pleno centro de Sevilla, otro en el barrio del Plantinar con jardines alrededor y un último en el barrio de los Pajaritos.

3.3 Muestras de estudio

Edificio 1. Bloque de viviendas residencial en Los Pajaritos.

Este edificio está ubicado en el ámbito residencial de Los Pajaritos, construido en el año 1963. Se trata de un edificio plurifamiliar con un patio interior, teniendo medianera en la zona oeste y fachada principal en el sur. Su estructura se basa en muros de caga de 1 pie, siendo además la única envolvente del mismo. Respecto a la cubierta, está compuesta por la cubierta andaluza típica de la época. Sus huecos se basan en vidrio sencillos de 1 hoja con marcos de aluminio.



Edificio 2. Bloque de viviendas residencial la periferia de El Plantinar.

Este edificio se encuentra en la periferia del barrio de El Plantinar, construido en el año 1964 en una zona rodeada de jardines. El bloque tiene una tipología tipo torre, con 3 bloques anexos en H. El caso de estudio es el edificio más al norte, por lo que linda su medianera con otro edificio al sur. Está conformado por una estructura de pilares y forjados de hormigón, cerramiento de dos hojas con cámara de aire, ventanas de 1 hoja simple con carpintería de aluminio y cubierta a la andaluza:



Edificio 3. Bloque de viviendas residencial en Plaza de la Gavidia.

Este edificio se encuentra en el barrio de El Plantinar, en una zona rodeada de jardines. El bloque tiene una tipología tipo torre, con 3 bloques anexos en H. El caso de estudio es el edificio más al norte, por lo que linda su medianera con otro edificio al sur. Está conformado por una estructura de pilares y forjados de hormigón, cerramiento de dos hojas con cámara de aire, ventanas de 1 hoja simple con carpintería de aluminio y cubierta a la andaluza:



4. Estado del arte

4.1 Marco constructivo en España desde 1900 a 1979

Durante el periodo de 1900 a 1979, las viviendas españolas fueron reguladas a partir de varias etapas normativas², en el cual podemos encontrar ciertas peculiaridades:

- Hasta 1944: No existía ningún tipo de normativa que regulase la construcción, por lo que se adoptaron ciertas soluciones constructivas como validas, destacando entre ellas el muro de fábrica de 1 pie. En este punto, no existía una regulación sobre la transmitancia térmica de los elementos, siendo los valores típicos en fachada $1,97 \text{ W/m}^2\text{K}$ y en cubierta $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- De 1944 a 1955: En esta época se hace latente en la sociedad la necesidad de establecer un adecuado aislamiento en las viviendas, sin embargo, ningún tipo de norma regula este campo, quedando en manos del proyectista la realización, o no, de paramentos con estos elementos.
- De 1955 a 1969: Para el 12 de julio de 1955 se crea las "Ordenanzas técnicas y normas constructivas", en donde se comienza a regular los valores de transmitancia térmica de los edificios, estableciendo los valores máximos para cubierta: $2.90 \text{ W/m}^2\text{K}$ y para fachada: $2.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, con valores típicos de fachada: $1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$ y cubierta $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

² Domínguez Amarillo, Sendra Salas, J. J., & Oteiza San José, I. (2016). *La envolvente térmica de la vivienda social: el caso de Sevilla, 1939 a 1979*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

- De 1969 a 1975: Se restringen significativamente los valores de transmitancia térmica de los elementos a partir de una modificación en las “Ordenanzas técnicas y normas constructivas”, con valores máximos de fachada: 1,86 W/m²K y cubierta: 2,10 W/m²K.
- De 1975 a 1977: Además de la normativa existente, se establece el nuevo Decreto 1490/1975 del 12 de junio, en el cual se establecen medidas para reducir el consumo energético de la edificación a partir del cumplimiento de transmisión de calor “K”.
- De 1977 a 1979: Se establece las “Normas Técnicas de diseño y calidad de las viviendas sociales”, por el cual se limita aún más el coeficiente “K” y la utilización de equipos de climatización. Sin embargo, no se hacen limitaciones a la demanda generada por las fachadas, siendo sus valores máximos de fachada: 1,86 W/m²K y cubierta: 1,74 W/m²K. Aunque la norma estuvo dirigida a las viviendas sociales, esta se usó de referencia para ser aplicada en todas las viviendas de la época.

4.2 El caso de Sevilla. Métodos constructivos asociados a la época

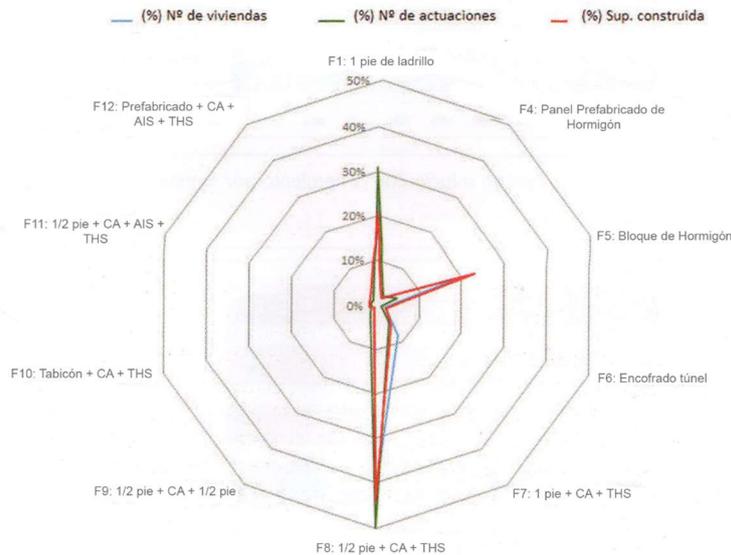
En el caso de Sevilla podemos encontrar 12 tipologías de soluciones constructivas de fachada durante el periodo de 1939 a 1979. Estas se pueden clasificar según sus hojas, destacando fundamentalmente el uso del ladrillo para la elaboración de las envolventes y los bloques de hormigón para casos mas aislados, teniendo diversas configuraciones como se esclarece en la siguiente tabla:

SOLUCIÓN		Hoja principal	Cámara	Aislamiento	Hoja interior
F1	UNA HOJA	1 pie de ladrillo macizo o perforado	NO	NO	-
F2		1/2 pie de ladrillo	NO	NO	-
F3		Tabicón de ladrillo hueco	NO	NO	-
F4		Panel prefabricado de hormigón armado	NO	NO	-
F5		Bloque de hormigón hueco	NO	NO	-
F6		Encofrado túnel	NO	NO	-
F7	DOBLE HOJA	1 pie de ladrillo macizo o perforado	SI	NO	Tabique ladrillo hueco
F8		1/2 pie de ladrillo	SI	NO	Tabique ladrillo hueco
F9		1/2 pie de ladrillo	SI	NO	Citara de ladrillo
F10		Tabicón de ladrillo hueco	SI	NO	Tabique ladrillo hueco
F11		1/2 pie de ladrillo	SI	SI	Tabique ladrillo hueco
F12		Panel prefabricado de hormigón armado	SI	SI	Tabique ladrillo hueco

Tipos de soluciones constructivas de la época. ³

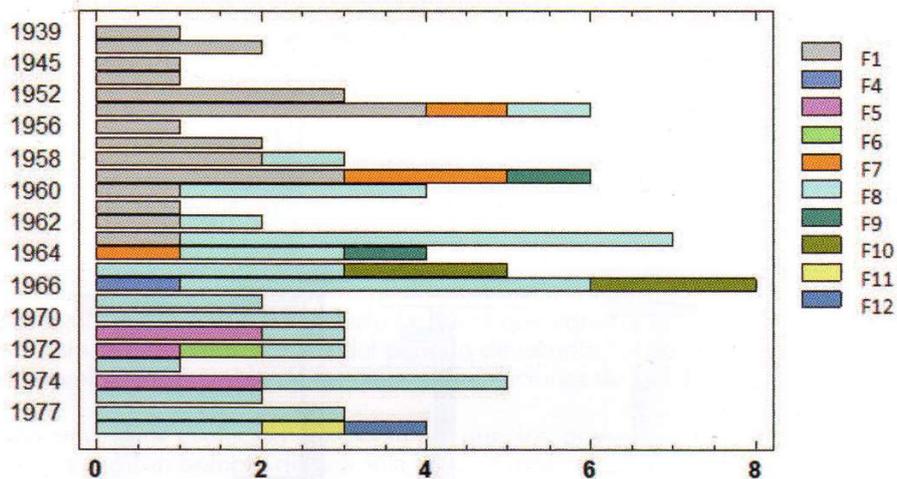
Aunque existieron diversos métodos constructivos para la configuración de fachadas, se decantó por la utilización tradicional del ladrillo, utilizando los bloques de hormigón para casos particulares. Estos primeros supusieron alrededor del 80% del total de actuaciones realizadas, de los cuales un 50% del parque edificatorio de la época de realizó con la solución de ½ + cámara de aire + tabique hueco simple (F8), mientras que el 30% restante se realizó mediante una solución basada en un muro de 1 pie de ladrillo macizo (F1). Por otro lado, aunque se realizaron pocas actuaciones con bloques de hormigón (F5), la superficie construida de estos edificios hace que sea la tercera solución constructiva más determinante de la época.

³ Tabla extraída del libro “Domínguez Amarillo, Sendra Salas, J. J., & Oteiza San José, I. (2016). *La envolvente térmica de la vivienda social: el caso de Sevilla, 1939 a 1979*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, pag 65-66”



Presencia global del tipo de cerramiento en el parque de vivienda del periodo. ⁴

Todos estos tipos de soluciones fueron adoptadas en función a los avances tecnológicos que iban surgiendo con el paso del tiempo. Así, en la tabla posterior, podemos comprobar cómo, desde comienzos del siglo XX hasta final de los 50, la solución constructiva de ladrillo de 1 pie fue el método utilizado de forma generalizada en Sevilla. Sin embargo, a partir de los 60 se comenzó un cambio en las soluciones, provocado por el comienzo a las regulaciones en cuanto a transmitancia térmica se refiere. Esto hizo que se pasase de la solución de ladrillo de 1 pie, a dos hojas de ladrillo con cámara de aire, desapareciendo por completo las soluciones de 1 hoja para los edificios de nueva planta.



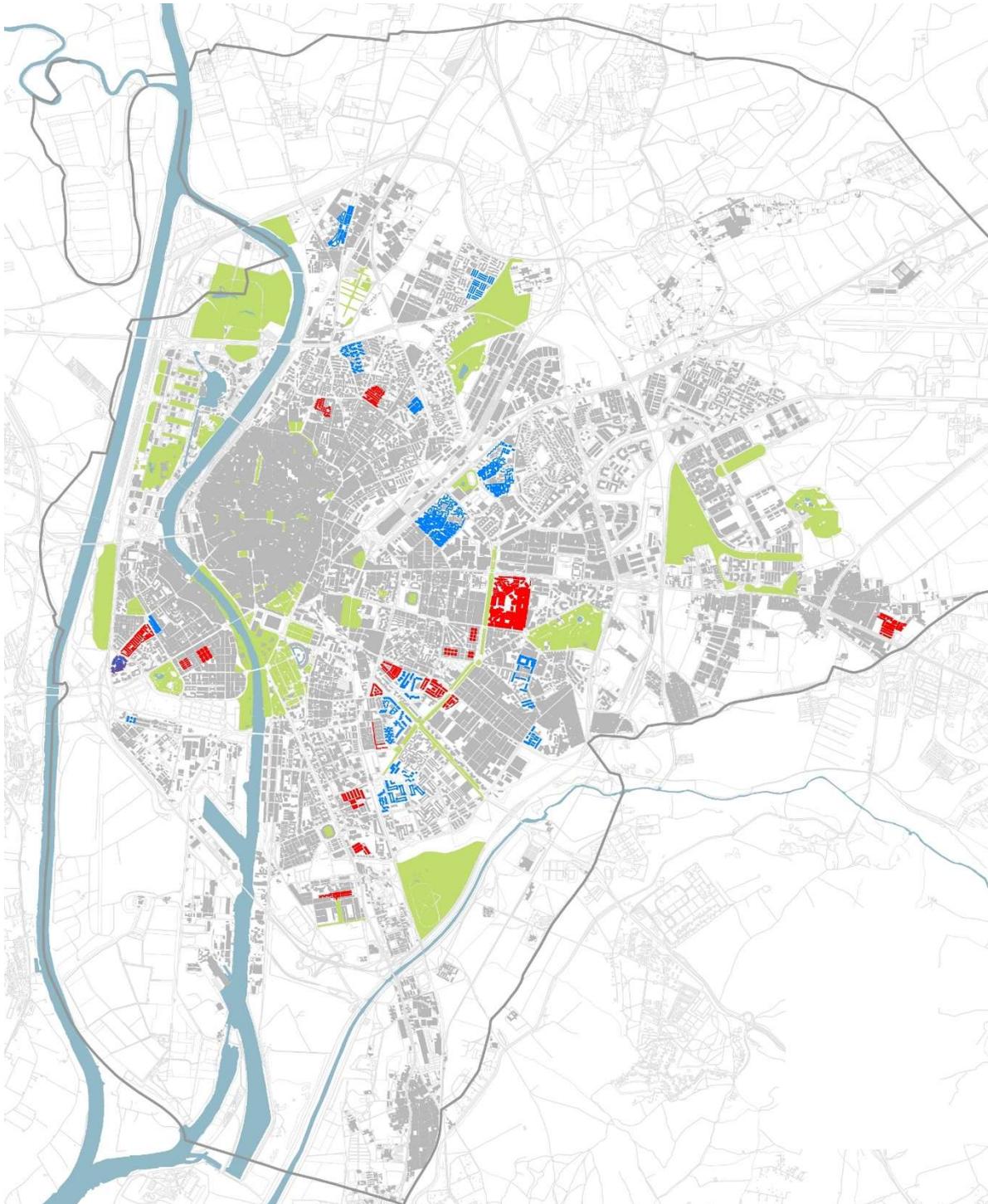
Frecuencia de los tipos de cerramiento según años ⁵

⁴ Gráfica extraída del libro "Domínguez Amarillo, Sendra Salas, J. J., & Oteiza San José, I. (2016). *La envolvente térmica de la vivienda social: el caso de Sevilla, 1939 a 1979*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, pag 69"

⁵ Gráfica extraída del libro "Domínguez Amarillo, Sendra Salas, J. J., & Oteiza San José, I. (2016). *La envolvente térmica de la vivienda social: el caso de Sevilla, 1939 a 1979*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, pag 68"

4.3 Relación de edificaciones con técnicas constructivas similares al estudio

Con la finalidad de conocer el porcentaje de edificaciones con similares técnicas constructivas, se ha realizado el siguiente estudio, en donde se muestra la localización de dichas viviendas en relación con los edificios de estudio:

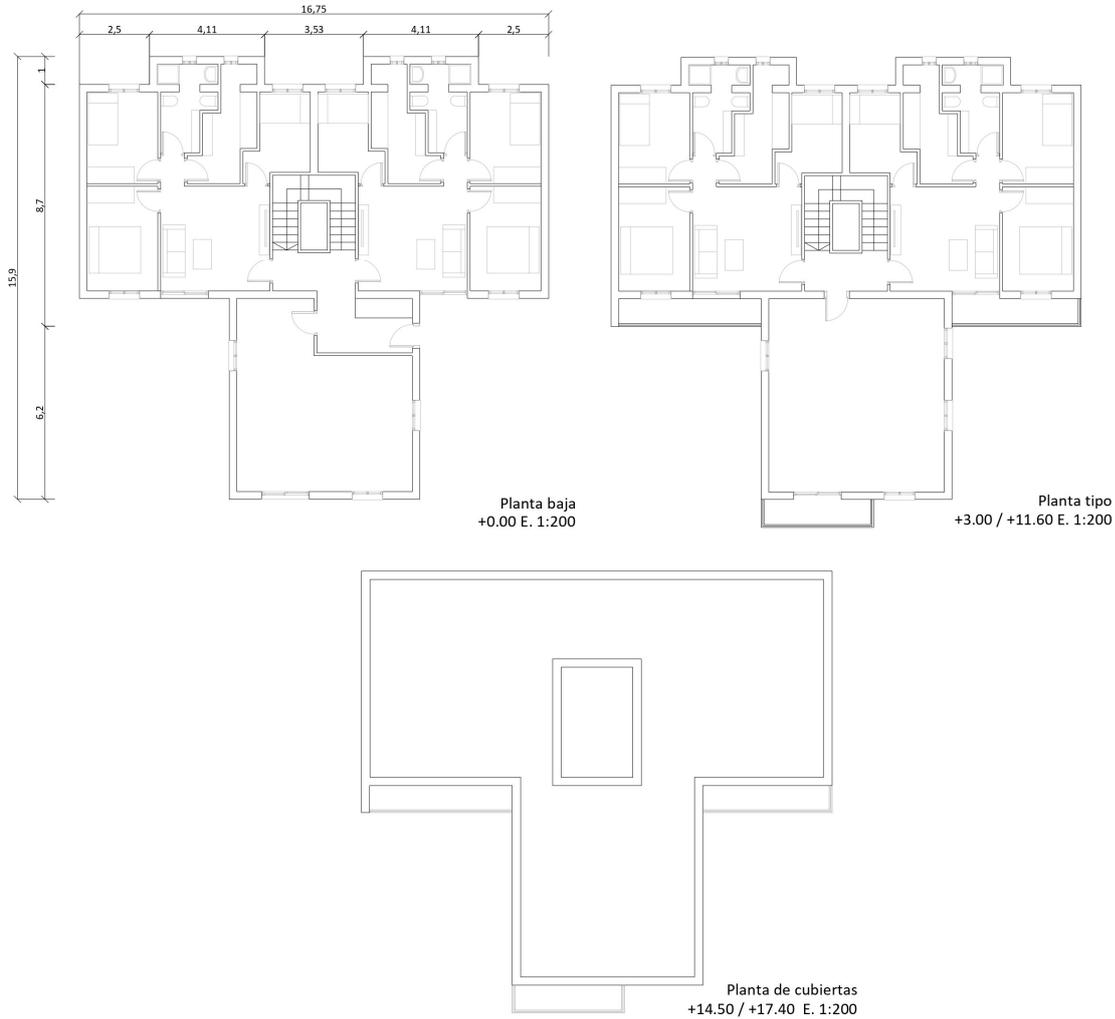


- Viviendas basadas en fachada ½ pie de ladrillo macizo, cámara de aire y tabique, cubierta a la andaluza y carpinterías de aluminio.
- Viviendas basadas en fachada 1 pie de ladrillo macizo, cámara de aire y tabique, cubierta a la andaluza y carpinterías de aluminio.
- Edificación existente
- Parques y jardines

5. Análisis de la envolvente térmica

5.1 Edificio 1. Barriada de Los Pajaritos

Este edificio presenta una tipología de edificio en T, contando con planta baja + 4 y cubierta accesible, con la siguiente configuración:



Para incluir el edificio en Cypetherm HE+, se ha utilizado el software IFC Builder con la finalidad de modelar el edificio. Para ello, se ha importado las plantas realizadas en AutoCAD, a partir de mediciones realizadas “in situ” del edificio. Con esto, se ha generado la definición de la envolvente, diferenciando cada elemento según su orientación y altura, buscando obtener datos representativos de cada vivienda y verificando el punto óptimo de aislamiento en la envolvente.

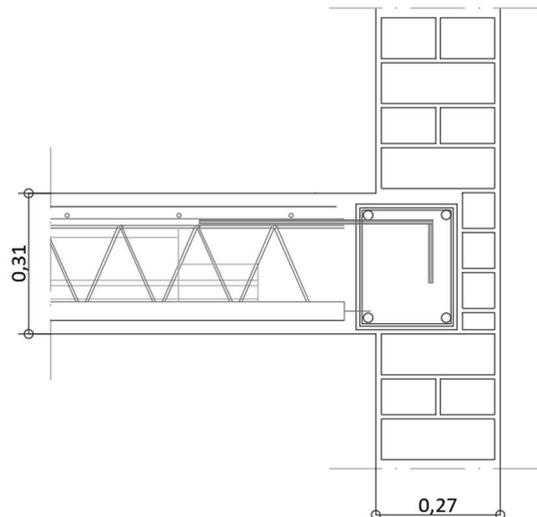


Modelo en IFC Builder del bloque residencial de la barriada de Los Pajaritos

Concluido su modelaje, se ha importado el edificio al software Cypetherm HE+, en donde se han expuesto las condiciones constructivas expuestas en el siguiente apartado.

5.1.1 Sistemas constructivos

5.1.1.1 Fachadas

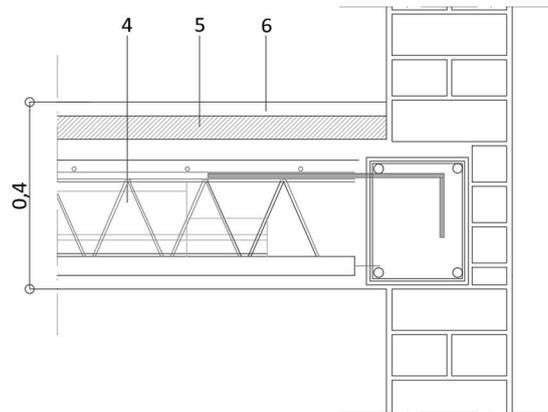


Encuentro fachada 1 pie LM con forjado tipo

La fachada está compuesta por 1 muro de carga de 1 pie de ladrillo macizo, con mortero de cemento al exterior y enlucido de yeso en su interior. Este tipo de soluciones tiene una gran masa térmica debido a su densidad, por lo que es muy bueno para los meses de verano debido a su inercia térmica, sin embargo, genera gran transmitancia de calor, por lo que un sistema que mejore esa inercia térmica, reduciendo la transmisión de calor puede mejorar la eficiencia energética de manera notoria.

Por otro lado, podemos encontrar grandes puentes térmicos como es el caso del encuentro del muro con el forjado, el cual no lleva ningún tipo de aislamiento que amortigüe todos los puentes lineales que se generan.

5.1.1.2 Cubierta



Encuentro fachada 1 pie LM con forjado de cubiertas (cubierta a la andaluza)

Este tipo de cubiertas está conformada un forjado unidireccional con entrevigado de hormigón (4), una formación de pendiente con carbonilla (5) y una baldosa cerámica (6). Este tipo de cubiertas genera gran inercia térmica debido a su masividad, pero conlleva una gran transmitancia de calor ($1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), por lo que es un elemento de la envolvente importante a aislar, tratando de mejorar su inercia térmica del mismo modo que en el caso de la fachada.

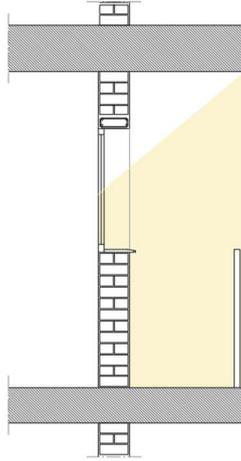
5.1.1.3 Huecos

Los huecos están compuestos por ventanas de $1,09 \times 1,20 \text{ m}$ de 1 hoja simple con marco de aluminio. Para hacer un análisis más exhaustivo sobre estos, es recomendable observar la posición de estos sobre la envolvente:



Situación de los huecos en la envolvente





Sección desde un hueco de ventana al sur con una inclinación solar de 40°

Febrero/Octubre a las 8:00 y 16:00, Noviembre-Diciembre-Enero de 10:00 a 14:00

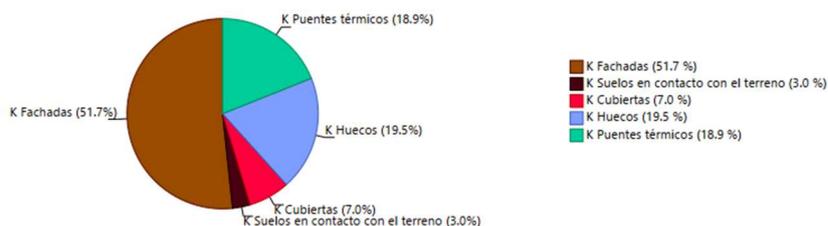
A partir de su situación podemos comprobar como la configuración de los balcones en la orientación sur en la envolvente resulta ineficiente, pues en los meses de invierno la radiación que entra dentro de la vivienda es escasa. Esto resultará en un gran aumento en la demanda de calefacción, por lo que será aconsejable proponer una solución que regule esto. Respecto a los huecos situados al norte, nunca reciben radiación solar, siendo un punto importante que rehabilitar.

5.1.2 Análisis de los resultados

Tras incorporar todos los elementos de la envolvente térmica obtenemos que el coeficiente de transmisión de calor “K” es muy superior a los valores límites establecidos en código técnico, en este caso, $K = 2.77 \text{ W/m}^2\text{K} < K_{lim} = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esto es algo esperable, puesto que el K_{lim} (Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica) es un valor establecido en el CTE, mientras que el edificio fue construido mucho antes de esta normativa.

Observando mas detenidamente el porcentaje de transmisión de calor global podemos encontrar que puntos de la envolvente son los que están realmente desfavorecidos:

	S (m ²)	L (m)	K _i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 1116.19 m²				
Fachadas	684.95	--	1.43	51.68
Suelos en contacto con el terreno	163.70	--	0.08	2.99
Cubiertas	160.76	--	0.19	6.96
Huecos	106.78	--	0.54	19.45
Puentes térmicos	--	1220.646	0.52	18.91



A partir de la tabla anterior podemos visualizar como actúa el edificio con su entorno al igual que los elementos con mayor transmitancia térmica y los más importantes a rehabilitar:

- Fachada: Representa el elemento de la envolvente térmica con mayor transmisión de calor (51.68%), siendo un elemento especialmente importante que valorar. En este caso particular, dicho cerramiento se comporte de una fachada con elevada inercia térmica dado su composición de 1 hoja de 1 pie de ladrillo macizo, por lo que una solución que mejore este tipo de solución puede ser útil para resolver esta demanda.
- Huecos: Es el segundo elemento con mayor transmisión de calor, representando un 19.5% del coeficiente de transmisión global, verificando la ineficacia del diseño del edificio en cuanto a sus voladizos y aperturas al exterior que se ha comentado en el punto "5.1.1.3 Huecos". En este sentido, resulta importante realizar una intervención sobre los mismos que impida la transmisión de calor, reduciendo además el porcentaje de infiltraciones que surgen en cada vivienda debido a un sistema de huecos poco eficaz.
- Puentes térmicos: Es el tercer elemento con mayor transmisión, con un 18.9%, por lo que una solución de aislamiento térmico exterior puede reducir estos en gran parte.
- Cubierta: Representa un 7,0% dado que es un edificio que se constituye en altura, por lo que habrá que tomar alguna medida que rebaje la demanda energética de las viviendas de última planta. En este sentido, dada su construcción, este elemento conlleva inercia térmica debido a su masividad, por lo que una combinatoria de solución de la envolvente en conjunto con la fachada puede generar un gran ahorro energético, a la vez que se resuelven gran parte de los puentes térmicos del edificio.

Por otro lado, se han obtenido la demanda de cada vivienda, a fin de determinar cómo influye la altura y la orientación en el edificio:



Resumen del cálculo de la demanda energética, kW/m²año

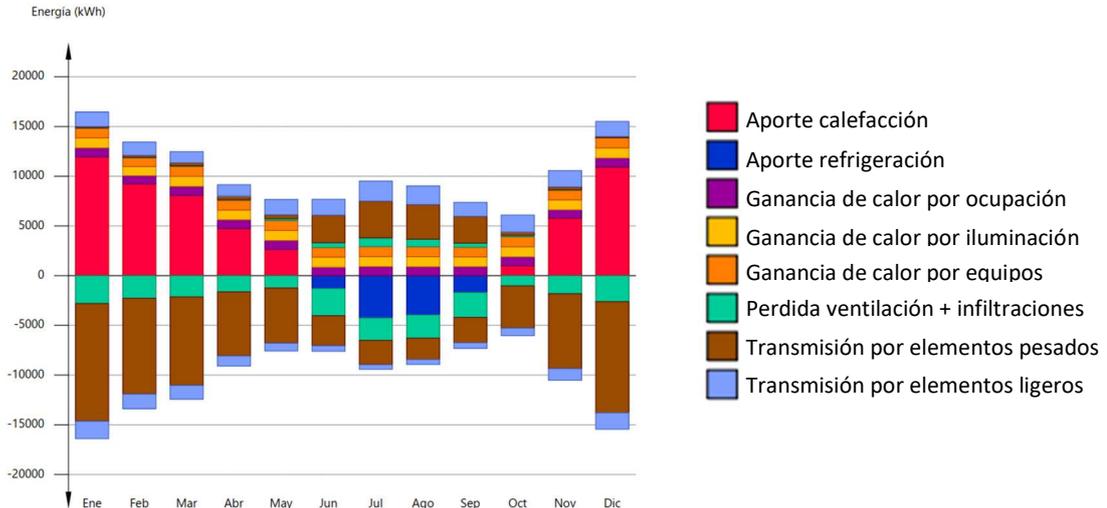
A partir de dicho informe se pueden extraer diversas conclusiones:

- Planta baja: Esta planta cuenta con menor demanda, debido a que el porcentaje de huecos respecto a las demás viviendas es inferior, por lo que la demanda total de estas plantas es menor.
- Plantas 1ª a 3ª: La demanda de dichas viviendas permanecen estables, sin grandes variaciones en altura, sin embargo, la orientación juega un papel determinante. <Por un lado, las viviendas A-B, con orientación norte-sur, obtienen mayor demanda de calefacción que las viviendas tipo C, con orientación este-oeste, ya que cuentan con

menor porcentaje de fachada, sin embargo, pasa lo contrario en cuanto a demanda de refrigeración se refiere.

- Planta 4ª: Al ser la última planta y estar en contacto directo con la cubierta, la demanda en esta se dispara hasta en 20 kW/m²año, por lo que será recomendable adoptar una solución en este punto.

Por otro lado, se ha observado el balance energético del edificio, de cara a observar la carga que generan o cede cada elemento de la envolvente:

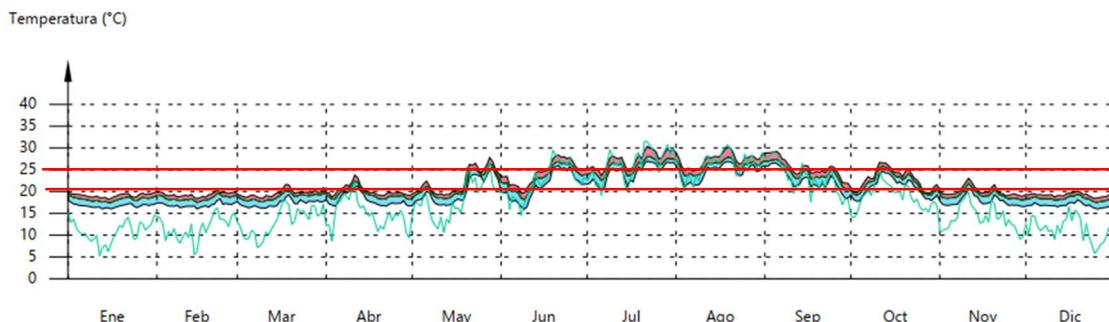


A través de este balance se pueden verificar datos que se iban intuyendo anteriormente:

- Por un lado, la transmisión de calor generada por los elementos pesados juega el papel mas determinante en el edificio. Se puede observar como en los meses de octubre a mayo, la fachada y la cubierta transmiten mucho calor hacia el exterior, sin embargo, su elevada inercia térmica genera que en los meses de junio a septiembre se equilibren las pérdidas y ganancias de calor provocadas por estos elementos, por lo que la demanda de refrigeración se ve disminuida en gran medida
- Por otro, las infiltraciones es el segundo mayor factor a tener en cuenta. Al contar con carpinterías de aluminio de la década de los 60, se generan muchas pérdidas de calor provocadas por infiltraciones en las viviendas, provocando un mayor aumento en la demanda.

Respecto a las temperaturas interiores, se pretende hacer un estudio de 2 viviendas con la idea de observar la evolución de la temperatura operativa por si existen momentos en donde se superan los límites de temperatura que causan estrés térmico.

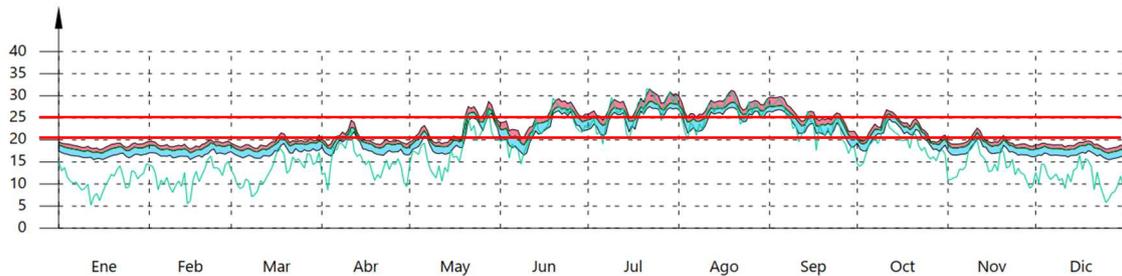
P2-VC



En el caso de dicha vivienda, observamos como veíamos previendo en los anteriores informes, que los meses donde existe mayor temperatura de confort se encuentra en los meses de mayo y octubre, mientras que los meses de noviembre a abril están por debajo de la temperatura límite para causar estrés térmico. Durante los meses de verano la temperatura es bastante mas elevada que el valor máximo para estrés térmico (25°C).

P4-VC

Temperatura (°C)



En el caso de una vivienda situada en última planta vemos como las temperaturas son más extremas, existiendo pocos meses en donde se mantenga una temperatura de confort estable, por lo que resultará importante realizar una intervención sobre la cubierta que equipare las temperaturas a las de las demás viviendas.

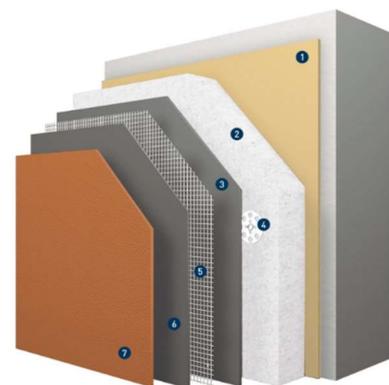
5.1.3 Soluciones de rehabilitación

Para llevar a cabo la búsqueda sobre la solución óptima, se estudiarán diferentes soluciones constructivas de rehabilitación para cada elemento de la envolvente térmica teniendo en cuenta diferentes cuestiones en función de cada paramento. Para ello, se realizará un estudio sobre el nivel de emisiones globales que estas mejoras generan:

- Fachada:

1. Solución de fachada mediante sistema SATE convencional

Se trata de un sistema de aislamiento exterior en donde se coloca un adhesivo (1) en el cerramiento existente para posteriormente colocar un aislamiento EPS (2) fijado mecánicamente (4). Tras esto, se coloca una malla de refuerzo (5), un mortero para regularizar el elemento (6) y su acabado (7).



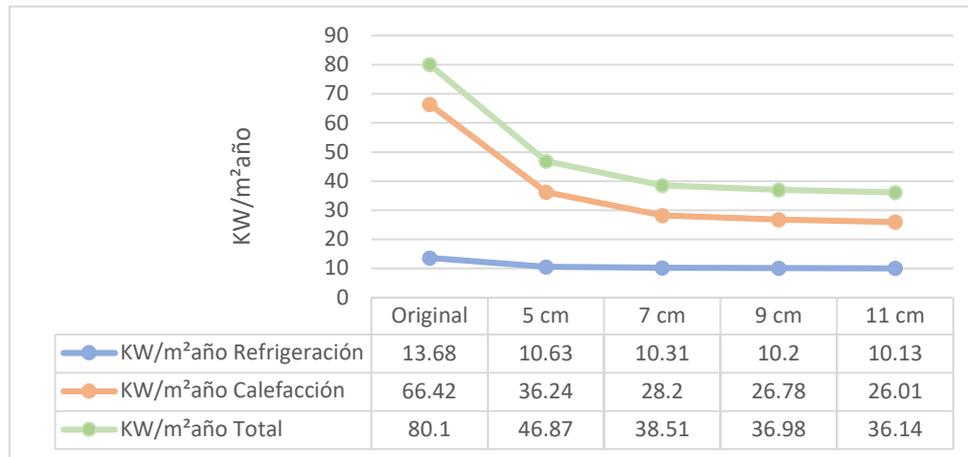
Ventajas:

- Reduce la demanda energética, eliminando gran cantidad de puentes térmicos.
- Es buen aislante acústico
- Reduce las humedades por condensación y filtraciones de agua
- Es una solución que puede combinar de manera efectiva con un cerramiento de gran inercia térmica, debido a la gran resistencia que ofrece el aislamiento

Desventajas:

- No resiste bien los impactos
- Las intervenciones para la incorporación de instalaciones sobre la fachada suponen tener que hacer reparaciones sobre esta.
- Se deteriora al tener un revestimiento de mortero

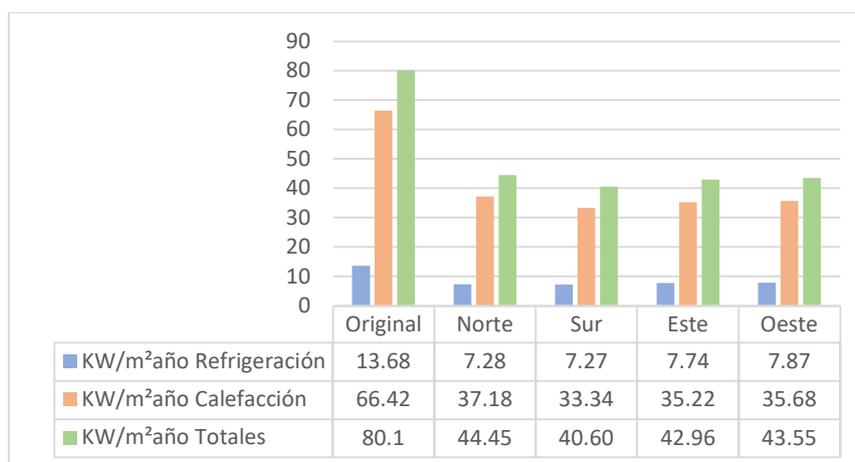
Para llevar a comprobar la viabilidad de este sistema se han hecho varios estudios teniendo en cuenta diferentes criterios. En primer lugar, se ha ido incrementando la capa de aislamiento del SATE en función de los márgenes establecidos por las empresas suministradoras, con el objetivo de verificar que espesor es el óptimo para el edificio, obteniendo los siguientes resultados:



Demanda energética en función del espesor de aislamiento en fachada, kW/m²/año

A partir de los datos obtenidos podemos observar como la incorporación de más aislamiento no implica mejores resultados, ya que este sistema a partir de 7 cm deja de ejercer un efecto notorio en el edificio en cuanto a demanda se refiere.

Por otro lado, se ha realizado un estudio sobre la interacción del sistema en todas sus orientaciones, teniendo en cuenta los porcentajes de fachadas y huecos para poder equiparar la solución:



Demanda energética en función de la orientación en fachada, kW/m²/año

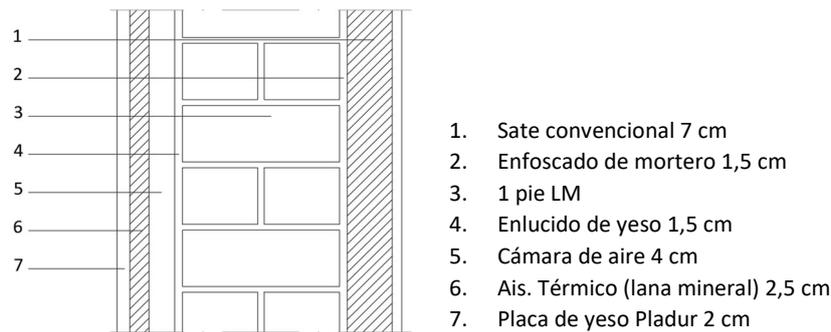
A partir de los datos obtenidos podemos verificar como la orientación juega cierto papel especialmente para la componente Norte-Sur, debido a las ganancias térmicas que genera el sol

sobre la envolvente, el cual hace que disminuya la necesidad de calefacción en 4 KW/m²año con respecto al norte, mientras que para el eje Este-Oeste prácticamente no varían los resultados.

Con esto, se puede llegar a la conclusión que el sistema SATE convencional mejora un 48% la demanda energética del edificio, sin ninguna repercusión especial en cuanto a su orientación, por lo que será conveniente disponerlo en toda su fachada.

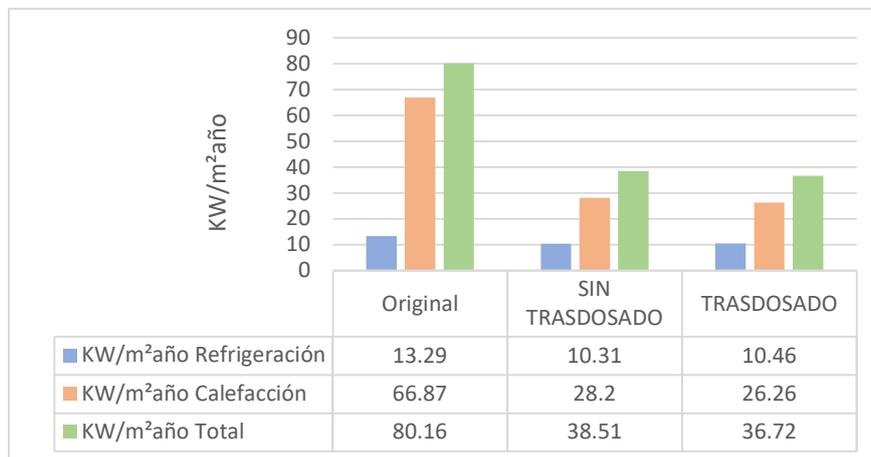
2. Solución de fachada mediante SATE convencional + trasdosado

En este caso, se ha dispuesto una hoja interior conformada por una estructura metálica que soporte placas de yeso laminado con aislamiento térmico (lana mineral) en su interior, incorporando además cámara de aire.



Detalle solución de rehabilitación mediante SATE + trasdosado

Se pretende realizar un estudio de este sistema en donde, escogiendo el espesor de aislamiento óptimo de la solución anterior (7 cm), observar si la doble hoja puede beneficiar a la demanda del edificio o, por el contrario, perjudicarla.

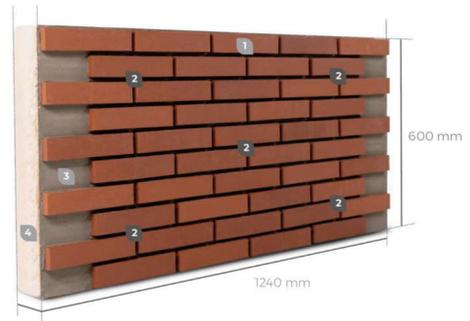


Comparativa de demanda entre un sistema con y sin trasdosado

En vista a los datos obtenidos, vemos como la incorporación de una cámara de aire + aislamiento térmico por el interior no repercute en absoluto en la demanda energética final, disminuyendo apenas nada, por lo que incorporar soluciones por el interior no afectan en absoluto a la demanda global del edificio.

3. Solución de fachada mediante sistema Vature

Este sistema se compone de una primera capa de poliestireno extruido (XPS) de 30 a 120 mm (4) fijada mecánicamente al cerramiento existente (2). Sobre este, se dispone mortero de agarre (3) con plaquetas cerámicas Termoklinker de 18 mm de espesor, fijada mediante sistemas industrializados.

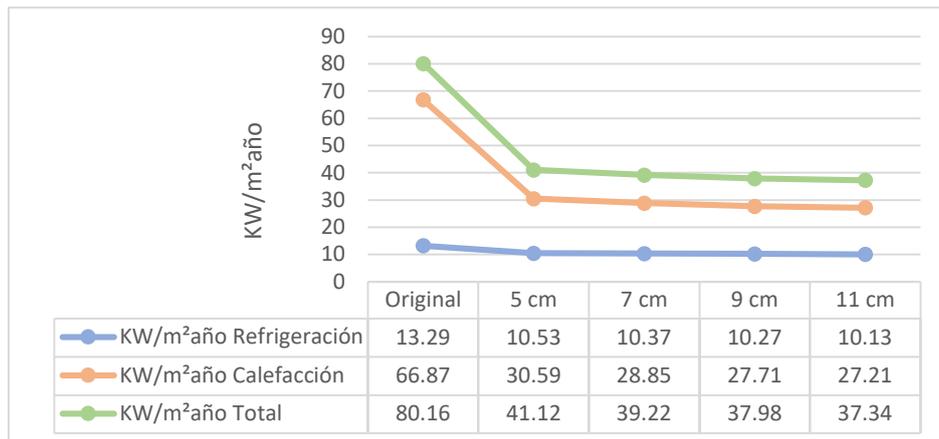


Ventajas:

- Reduce la demanda energética, eliminando gran cantidad de puentes térmicos.
- Es buen aislante acústico
- Es una solución que puede combinar de manera efectiva con un cerramiento de gran inercia térmica, debido a la gran resistencia que ofrece el aislamiento

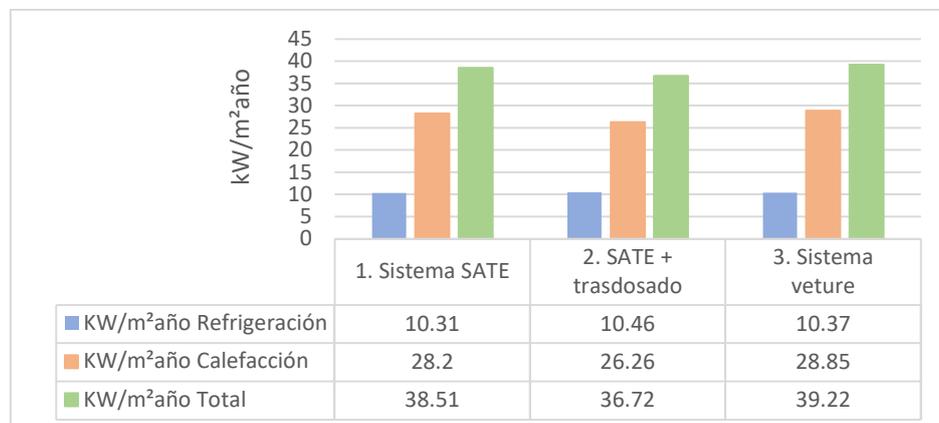
Desventajas:

- Resiste bien los impactos
- Aguanta los agentes externos pues está revestido con una plaqueta cerámica



Demanda energética en función del espesor de aislamiento en fachada, kW/m²año

Analizadas todas las posibles soluciones, obtenemos el posterior cuadro resumen en donde comprobamos que tipo de solución sería la más idónea para este caso:



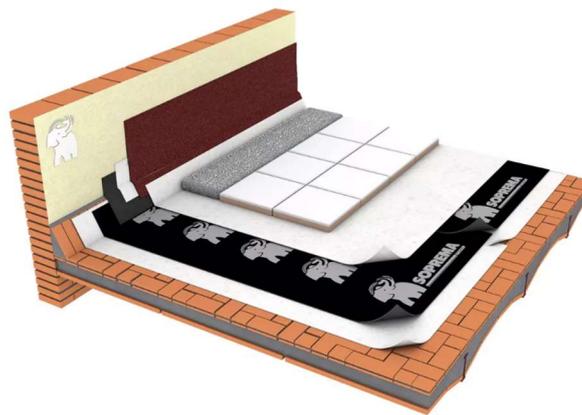
Comparativa entre los diferentes tipos de sistemas con 7 cm de aislamiento

Teniendo en cuenta un aislamiento exterior de 7 cm, encontramos con que, respecto al sistema SATE y Vature, apenas existen cambios en cuanto a demanda energética se refiere, mientras que si al sistema SATE se le incluye un trasdosado podría mejorar hasta 2 kW/m²año. A pesar de ello, el trasdosado no es la elección correcta, pues repercute en los m² útiles de la vivienda, por lo que su incorporación no es tan relevante como para tomar este tipo de sistema como efectivo. En cuanto al sistema SATE o Vature se podrían escoger cualquier tipo sin una variación en cuanto a demanda, por lo que se optará por un SATE convencional con la idea de mantener la misma estética de fachada que el edificio actual

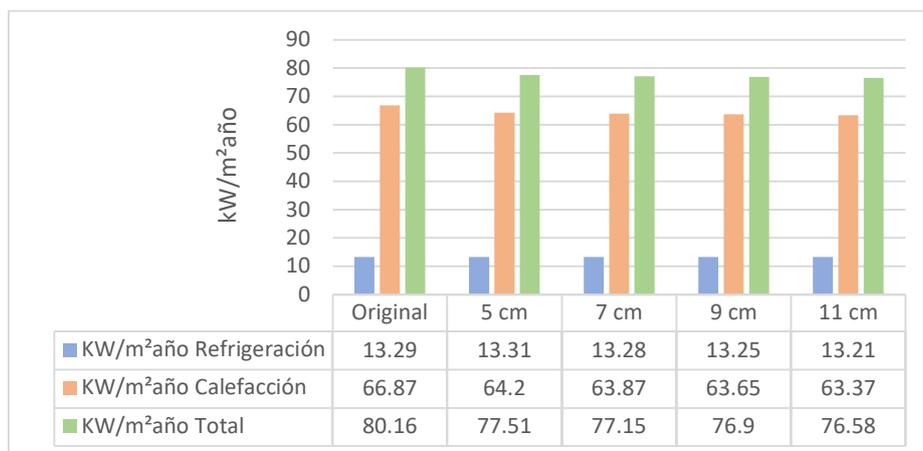
- **Cubierta**

1. Incorporación de aislamiento térmico en cubierta

Actualmente la cubierta está compuesta por un forjado unidireccional de hormigón, con una formación de pendiente con carbonilla y una plaqueta cerámica. Esto genera gran inercia térmica, pero también gran transmitancia térmica, por lo que se decide incorporar aislamiento XPS sobre la cubierta existente, analizando el espesor de aislamiento para verificar cual es el óptimo.



Rehabilitación cubierta plana transitable invertida bicapa. Fuente Soprema

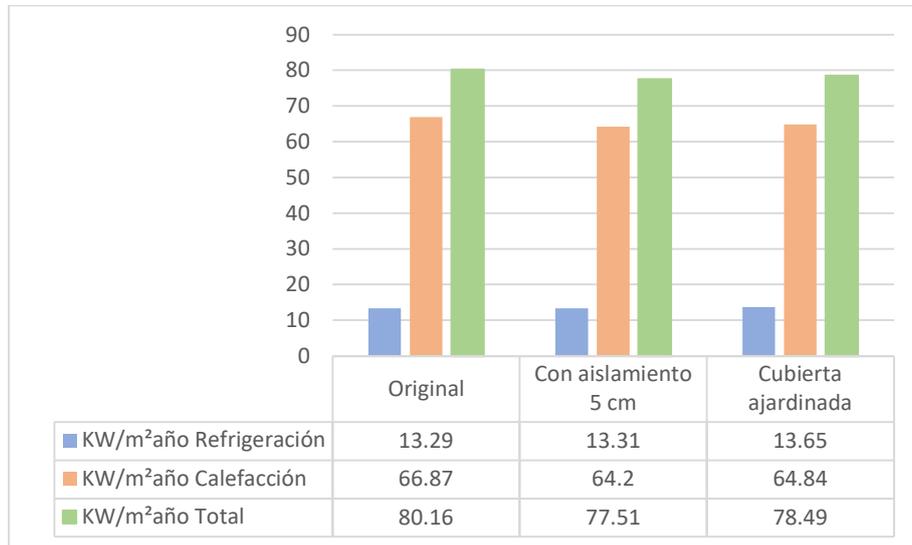


Demanda energética en función del espesor de aislamiento en cubierta, kW/m²año

Observando los informes de demanda, se aprecia como lo ideal es colocar 5 cm de aislamiento, ya que no representa ningún tipo de mejora el colocar más aislamiento.

2. Incorporación de cubierta ajardinada

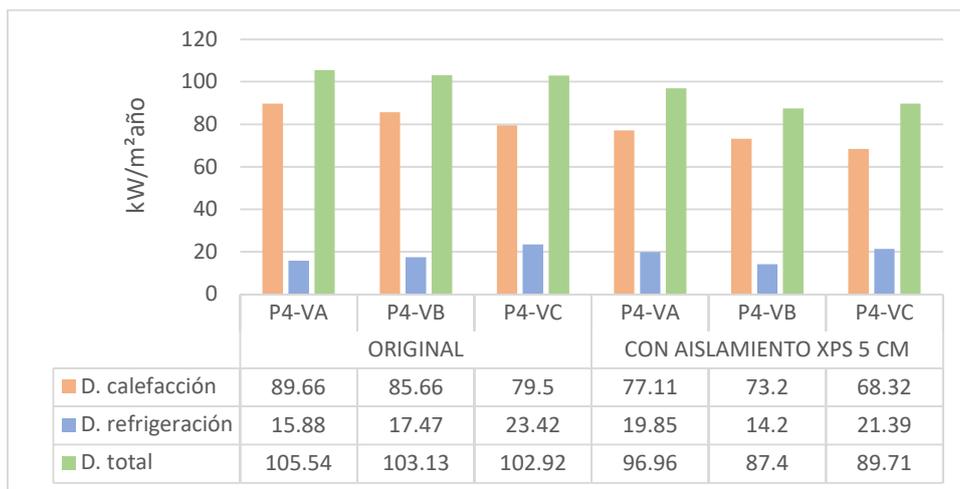
A fin de esclarecer los efectos de una cubierta ajardinada sobre el edificio, se decide compararlo con el edificio existente y la propuesta de incorporar aislamiento XPS 5 cm, obteniendo los siguientes resultados:



Comparativa entre los tipos de soluciones posibles a adoptar

Tras un análisis de los resultados, se observa como ambos tipos de soluciones ofrecen una disminución significativa en la demanda energética del edificio. Sin embargo, la solución de incorporar aislamiento XPS 5 cm con un acabado de mortero disminuye aun mas la transmitancia, siendo más valida ya que una cubierta ajardinada necesita mantenimiento y genera la proliferación de insectos.

Concluida la solución idónea de rehabilitación, se estudia una comparativa de las viviendas de última planta con una solución de cubierta de aislamiento XPS 5 cm con el edificio original, a fin de esclarecer la disminución de demanda real de estas:



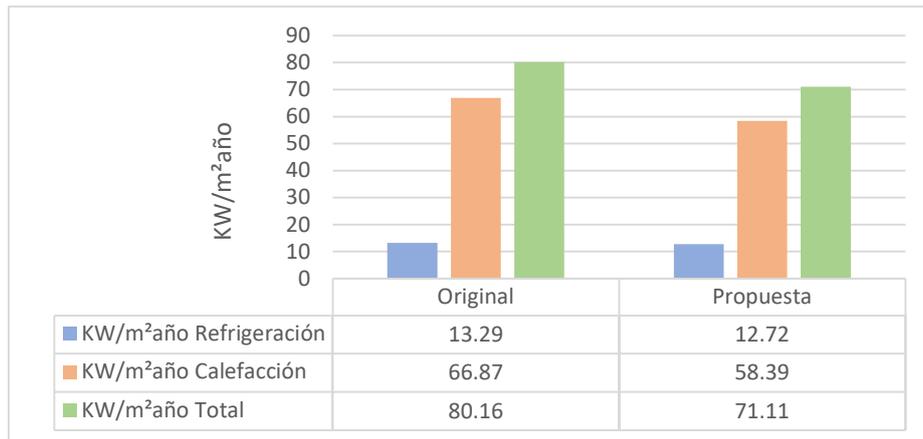
Comparativa entre las viviendas de última planta, kW/m²año

Una rehabilitación de la cubierta ofrecerá a las viviendas de última planta una disminución en su demanda de hasta 10 kW/m²año, por lo que es un elemento de la envolvente importante a rehabilitar.

- **Huecos**

Como veníamos previendo en el estudio de la envolvente, el diseño de huecos es nefasto, pues incorpora varias ventanas a este y oeste y en orientación sur existen voladizos que ocultan la luz directa sobre estos tanto en verano como invierno. Esto genera una gran pérdida de energía en el interior, aumentando en gran medida la demanda energética.

Al ser un edificio de avanzada edad y viviendas sociales con escasos recursos económicos, una solución basada en un cambio de ventanas a un vidrio de doble hoja aislante resulta inadecuado, por lo que se ha optado por colocar una doble ventana que genere una pequeña cámara, la cual disminuirá las infiltraciones de aire y mejorará la transmitancia de calor al exterior:

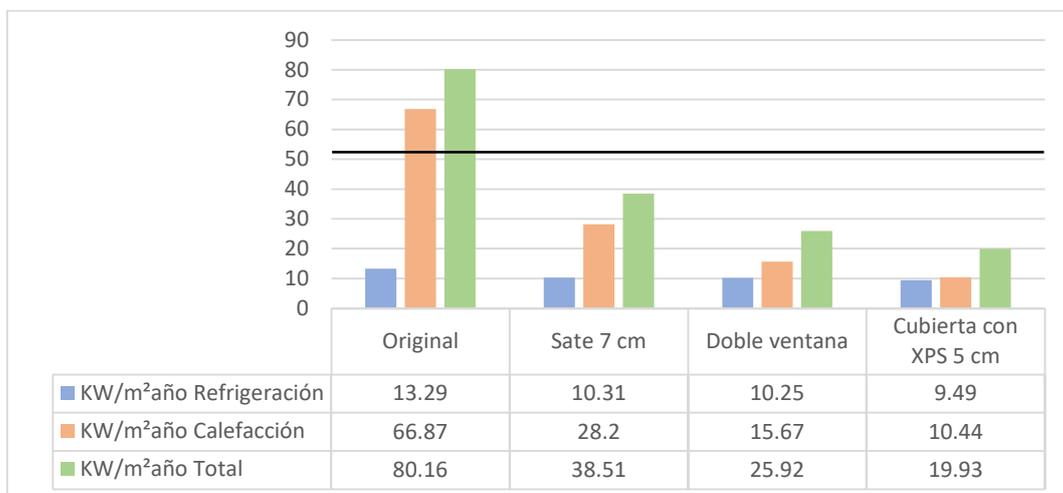


Propuesta doble ventana con carpintería de aluminio, kW/m²año

Observando los resultados, apreciamos como esta solución nos permite reducir la demanda del edificio en un 13%.

5.1.4 Propuesta definitiva

Tras observar que soluciones son las más idóneas para el edificio se establece una comparativa entre el edificio existente y su rehabilitación a fin de comparar si se cumplen con las exigencias de la directiva europea en cuanto a demanda energética:



Propuestas de rehabilitación, kW/m²año

Según la directiva europea, para 2050 habría que reducir la demanda en un 27%. En este caso, resulta en una disminución hasta los 53.70 kW/m²año como mínimo, pues la demanda total original es de 80.16 kW/m²año. Con todas las soluciones adoptadas, es posible generar un ahorro energético anual de un 75%, con una demanda de 19.93 kW/m²año, por lo que sería posible cumplir a demanda las exigencias de la directiva europea.

5.1.5 Estudio económico y de viabilidad

Tras realizar la anterior evaluación para encontrar la solución óptima para la envolvente del edificio, se procede a realizar un estudio económico sobre los costes de intervención a realizar para la mejora térmica del edificio. Para ello, se acude al generador de precios de Cype Ingenieros, buscando la solución a desarrollar en la propuesta. En aquellos casos en donde no exista el tipo de solución definida, se buscará una solución similar, definiendo dicho elemento como un “coste aproximado”, grafiándolo en la posterior tabla con el símbolo “*”.

Ud VENTANA CORREDERA ALUMINIO RPT 1100x1200 m

Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas correderas, dimensiones 1100x1200 mm, acabado lacado color blanco con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 33 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 4,0 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 26 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 3, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 7ª, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra

	Unidad	Precio/Unidad	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Sistema doble ventana	Materiales							
	Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas practicables, con apertura hacia el interior, dimensiones 1100x1200 mm, acabado lacado color blanco, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 68 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 2,8 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 46 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1650, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210	317.86 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%	4.14 €	385.46 €	50	19,273.00 €	1,349.11 €	20,622.11 €	1,374.81 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura \geq 800%, según UNE-EN ISO 8339.	1.74 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1º cerrajero.	30.50 €						
Ayudante cerrajero.	19.01 €							
Costes directos complementarios		12.21 €						

m² SISTEMA ETICS TRADITERM "GRUPO PUMA" DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR DE FACHADAS

Aislamiento térmico por el exterior de fachadas, con el sistema Traditerm EPS "GRUPO PUMA", con ETE 07/0054, compuesto por: panel rígido de poliestireno expandido, Traditerm Panel EPS "GRUPO PUMA", según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, fijado al soporte con mortero Traditerm "GRUPO PUMA", aplicado manualmente y fijaciones mecánicas con taco de expansión de polipropileno Traditerm "GRUPO PUMA"; capa de regularización de mortero Traditerm "GRUPO PUMA", aplicado manualmente, armado con malla de fibra de vidrio, antiálcalis, Traditerm "GRUPO PUMA", de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor y de 160 g/m² de masa superficial; capa de acabado de mortero acrílico Morcemcrlil "GRUPO PUMA", color Blanco 100, sobre imprimación acrílica Fondo Morcemcrlil "GRUPO PUMA". Incluso perfiles de arranque Traditerm "GRUPO PUMA", de aluminio, perfiles de cierre superior Traditerm "GRUPO PUMA", de aluminio, perfiles de esquina Traditerm "GRUPO PUMA", de PVC con malla, masilla selladora monocomponente Pumaelastic-Ms "GRUPO PUMA" y cordón de espuma de polietileno expandido de celdas cerradas para sellado de juntas. El precio incluye la ejecución de remates en los encuentros con paramentos, revestimientos u otros elementos recibidos en su superficie. Medida la superficie ejecutada

	Unidad	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Sistema SATE 7 cm	Materiales								
	Perfil de arranque Traditerm "GRUPO PUMA" de aluminio, de 70 mm de anchura, con goterón, para nivelación y soporte de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior sobre la línea de zócalo; incluso kit de fijación para perfil.	0.94 €							
	Perfil de cierre superior, Traditerm Coronación "GRUPO PUMA", de aluminio, de 70 mm de anchura, para coronación de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior.	2.73 €							
	Mortero Traditerm "GRUPO PUMA", impermeable al agua de lluvia, permeable al vapor de agua y no propagador de la llama, para aplicar con llana, para adherir los paneles aislantes y como capa base, previo amasado con agua.	7.92 €							
	Panel rígido de poliestireno expandido, Traditerm Panel EPS "GRUPO PUMA", según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, con resistencia al envejecimiento y permeable al vapor de agua, resistencia térmica 1,58 m ² /K/W, conductividad térmica 0,038 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego.	11.03 €							
	Taco de expansión de polipropileno Traditerm "GRUPO PUMA", de 110 mm de longitud, para fijación de placas aislantes.	1.68 €							
	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, Traditerm "GRUPO PUMA", de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor, de 160 g/m ² de masa superficial y de 1x50 m, para armar morteros.	1.76 €							
	Perfil de esquina Traditerm "GRUPO PUMA" de PVC con malla, para refuerzo de cantos.	0.38 €		64.11 €	823.50	52,794.59 €	3,695.62 €	56,490.21 €	2,824.51 €
	Imprimación acrílica Fondo Morcemcrlil "GRUPO PUMA", compuesta por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua, para aplicar con brocha, rodillo o pistola, para regularizar la absorción e incrementar la adherencia de morteros acrílicos.	0.84 €							
	Mortero acrílico Morcemcrlil "GRUPO PUMA", color Blanco 100, compuesto por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, antimoho y antivertín, permeable al vapor de agua y con resistencia al envejecimiento, a la contaminación urbana y a los rayos UV, para revestimiento de paramentos exteriores.	9.60 €							
	Cordón de polietileno expandido de celdas cerradas, de sección circular de 6 mm de diámetro, para el relleno de fondo de junta.	0.01 €							
	Cartucho de masilla monocomponente a base de polímeros híbridos, Pumalastic-Ms "GRUPO PUMA", de 290 cm ³ , con dureza Shore A aproximada de 40, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 550%, según UNE-EN ISO 8339.	0.16 €							
	Mano de obra								
	Oficial 1º montador de aislamientos.	1.94 €							
	Ayudante montador de aislamientos.	1.79 €							
	Oficial 1º revocador.	11.33 €							
	Ayudante revocador.	10.74 €							
Costes directos complementarios									
Costes directos complementarios	1.26 €								

m² REHABILITACIÓN DE CUBIERTA PLANA INVERTIDA BICAPA

Rehabilitación de cubierta plana con acabado existente formada, a partir del soporte estructural, por capa de pendientes realizada con carbonilla. Colocación de nueva capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster, punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m²; Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plastómero APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t^a ≤ -15°C (LBM-40-PE+PE según UNE 104410:2013), Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m²; Baldosa aislante visitable compuesta por una base de espuma de poliestireno extruido con estructura de célula cerrada de 50 mm de espesor de conductividad térmica 0,036 W/m²K (UNE EN 13164), autoprotégida en su cara superior con una capa de mortero de 35 mm de espesor, compuesta por áridos seleccionados y aditivos especiales, con acabado rugoso rústico en gris.

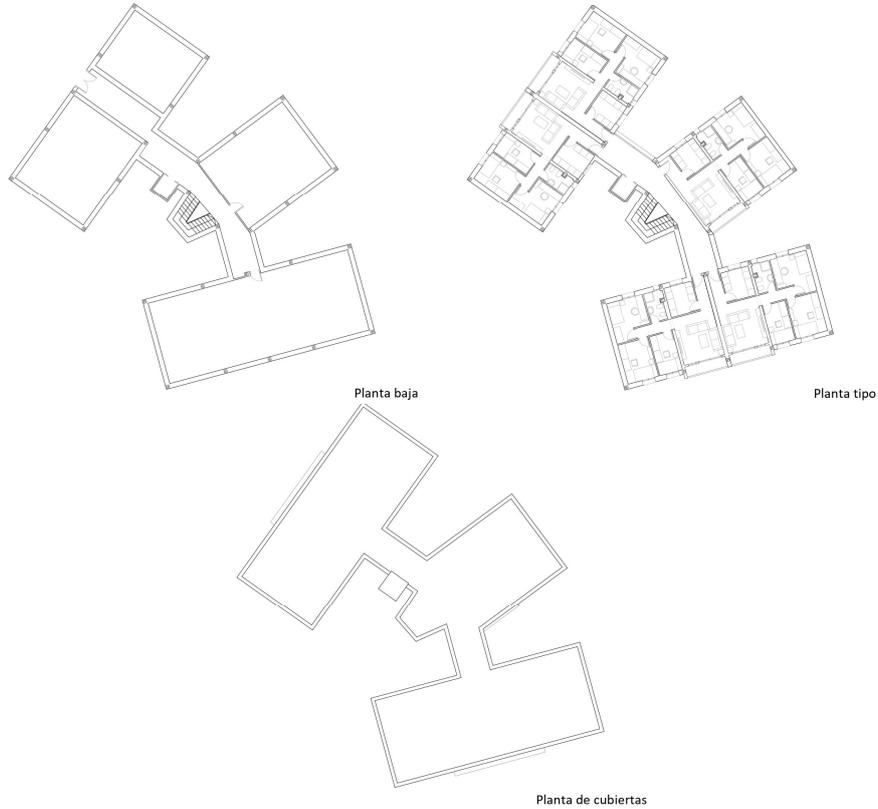
	Descripción	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Rehabilitación cubierta plana transitable de uso privado	Materiales								
	Capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m ²	0.85 €							
	Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plastómero APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t ^a ≤ -15°C	6.50 €							
	Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m ²	1.26 €							
	* Baldosa aislante visitable compuesta por una base de espuma de poliestireno extruido con estructura de célula cerrada de 50 mm de espesor de conductividad térmica 0,036 W/m ² K (UNE EN 13164), autoprotégida en su cara superior con una capa de mortero de 35 mm de espesor, compuesta por áridos seleccionados y aditivos especiales, con acabado rugoso rústico en gris.	15.63 €		67.04 €	165.48	11,093.78 €	776.56 €	11,870.34 €	791.36 €
	Mortero de juntas cementoso mejorado, con absorción de agua reducida y resistencia elevada a la abrasión, tipo CG2 W A, según UNE-EN 13888, color blanco, para juntas de 2 a 15 mm, a base de cemento de alta resistencia, cuarzo, aditivos especiales, pigmentos y resinas sintéticas, para rejuntado de todo tipo de piezas cerámica	0.04 €							
	Mano de obra								
	Oficial 1 ^a construcción	2.10 €							
	Peón ordinario construcción	15.18 €							
	Oficial 1 ^a aplicador de láminas impermeabilizantes	3.75 €							
	Ayudante aplicador de láminas impermeabilizantes.	3.56 €							
	Oficial 1 ^a montador de aislamientos.	1.21 €							
	Ayudante montador de aislamientos.	1.12 €							
	Oficial 1 ^a soldador.	9.38 €							
Ayudante soldador.	4.45 €								
Costes directos complementarios	2.01 €								

Tras el estudio económico obtenido, determinamos que, para realizar dicha intervención, esta supondría un coste total de 88.982'66 €, con un coste por vivienda de 4.990'67 €.

- Huecos: El precio total por vivienda para rehabilitar huecos es de 1.374'81 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 13%, reduciendo su demanda 9'05 kW/m²año
- Cubierta: El precio total por vivienda para rehabilitar la cubierta es de 791'36 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 6.65%.
- Fachada: El precio total por vivienda para rehabilitar la fachada es de 2.824'51 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 51.03 % reduciendo su demanda 41'59 kW/m²año.

5.2 Edificio 2. Periferia a la barriada del Plantinar

Este edificio presenta una tipología de edificio en H, contando con planta baja destinadas a locales comerciales y 4 plantas en altura, con una cubierta no transitable. Tiene la peculiaridad de ser 1 de los 3 bloques medianeros que conforman una tipología de torre en el barrio del Plantinar:



Para poder incluir los sistemas constructivos que definen al edificio, primeramente, se ha levantado el edificio en el software IFC Builder. Para ello, se han importado las plantas realizadas en AutoCAD a partir de mediciones realizadas “in situ”. Tras esto, se ha generado la definición de la envolvente, diferenciando cada elemento según su orientación y altura, buscando obtener datos representativos de cada vivienda.

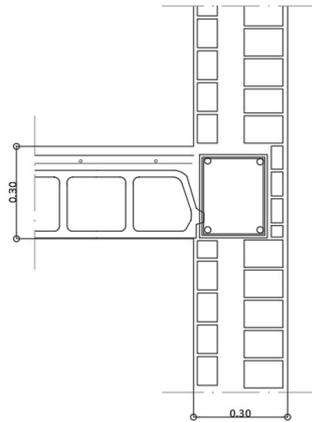


Modelo en IFC Builder del bloque residencial de la barriada del Plantinar

Al conocer datos mas exactos acerca de las máquinas utilizadas en este edificio, se hará un estudio de las emisiones de CO₂, recogiendo la potencia total de todas las maquinas, asi como su rendimiento de una vivienda, y extrapolaremos está misma simulación al resto del edificio, a fin de conocer si los requisitos exigidos por la directiva europea son demasiado ambiciosos o se pueden llegar a alcanzar.

5.2.1 Sistemas constructivos

5.2.1.1 Fachadas



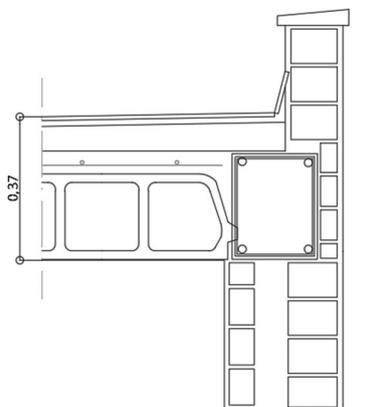
Encuentro fachada 1 pie LM con forjado tipo

La fachada está compuesta por 1 de dos hojas, basada en un enfoscado de mortero, ½ pie de ladrillo macizo, cámara de aire, ladrillo hueco doble y enlucido de yeso en su interior.

La incorporación de dos hojas con cámara de aire reduce la demanda energética del edificio frente a las antiguas soluciones basadas en 1 pie de ladrillo de macizo, sin embargo, está muy por encima de los requisitos de Código Técnico y de la directiva europea 2018/844.

Por otro lado, podemos encontrar grandes puentes térmicos tanto en encuentros de forjado como en pilares, por lo que soluciones de aislamiento térmico en el exterior son las soluciones idoneas de rehabilitación, pues, aunque se pueda insuflar la cámara de aire y mejore la transmitancia, esto es complejo y de ninguna manera puede ser homogéneo

5.2.1.2 Cubierta



Encuentro fachada ½ pie LM + Cámara de aire + LHD con forjado de cubiertas (cubierta a la andaluza)

Este tipo de cubierta está conformada por un forjado unidireccional con entrevigado de hormigón, una formación de pendiente con carbonilla y una baldosa cerámica. Este tipo de cubiertas genera gran inercia térmica debido a su masividad, pero conlleva una gran transmitancia de calor ($1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), por lo que es un elemento de la envolvente importante a aislar, tratando de mejorar su inercia térmica del mismo modo que en el caso de la fachada.

5.2.1.3 Huecos

Los huecos están compuestos por ventanas de $1,09 \times 1,20 \text{ m}$ de 1 hoja simple con marco de aluminio y un ventanal de suelo a techo en el salón. Para hacer un análisis más exhaustivo sobre estos, es recomendable observar la posición de estos sobre la envolvente:



Situación



Planta tipo. Situación de huecos

A partir de su situación podemos comprobar como la configuración de los balcones en la orientación sur en la envolvente resulta ineficiente, pues en los meses de invierno la radiación que entra dentro de la vivienda es escasa. Esto resultará en un gran aumento en la demanda de calefacción, por lo que será aconsejable proponer una solución que regule esto. Respecto a los huecos situados al norte, nunca reciben radiación solar por lo que no conllevan demasiada ganancia térmica.

5.2.2 Análisis de los resultados

Tras incorporar todos los elementos de la envolvente térmica obtenemos que el coeficiente de transmisión de calor global "K" es muy superior a los valores límites establecidos en código técnico, siendo $K=2.41 \text{ W/m}^2\text{K} < K_{\text{lim}} = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esto es algo esperable, pues los edificios de la época apenas contaban con intenciones de reducir la demanda energética y la transmisión de calor del edificio. Observando mas detenidamente los porcentajes de transmisión de calor podemos esclarecer que elementos son los mas influyentes en el edificio, con la finalidad de poder resolverlos:

	S (m ²)	L (m)	K _i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 2624.49 m²				
Fachadas	1579.12	--	0.77	31.94
Suelos en contacto con el terreno	358.75	--	0.09	3.73
Cubiertas	347.48	--	0.18	7.38
Huecos	339.14	--	0.73	30.53
Puentes térmicos	--	3051.597	0.64	26.42

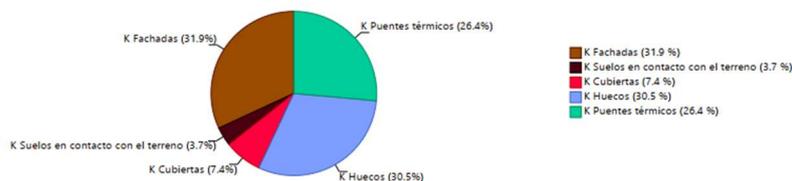
donde:

S: Superficie, m².

L: Longitud, m.

K_i: Coeficiente parcial de transmisión de calor, W/(m²·K).

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor, %.



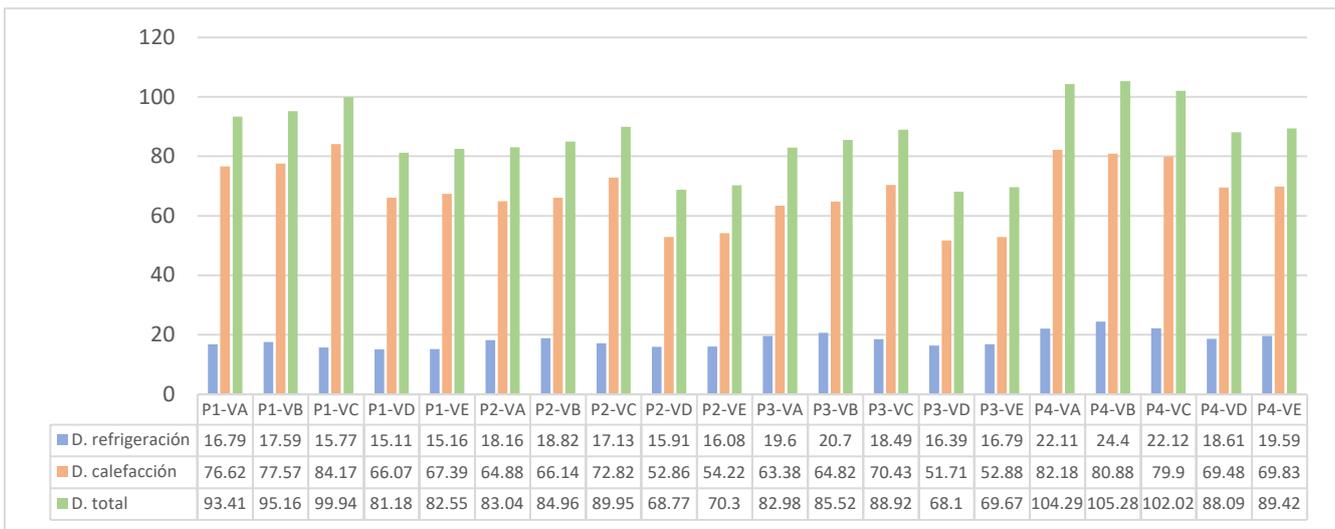
Con ello, podemos observar un par de cuestiones:

- La fachada ocupa el primer puesto en cuanto a deficiencias pues es el elemento con mayor superficie de toda la envolvente. En este caso, representa un 31,9% de toda la transmisión de calor del edificio, pues existen gran cantidad de puentes térmicos sobre el edificio (encuentros con pilares y forjados) además de una elevada transmitancia, ya que la fachada se compone de 2 hojas con cámara de aire.
- Los huecos son el segundo mayor factor de transmitancia de calor del edificio, con un 30,5% de porcentaje total. Esto es debido a múltiples factores:
 - Por un lado, el propio diseño del bloque resulta nefasto, pues, el bloque colindante a el tiene mayor altura y está justo en la zona sur, eliminando gran parte de luz incidida sobre la superficie. Esto generará gran demanda en cuanto a calefacción.
 - Existen un gran número de ventanales de suelo a techo, tanto en salones como en los pasillos. Esto genera una enorme transmisión de calor, pues el aire frio puede entrar con mayor facilidad por la parte más baja del ventanal. Una

disposición de ventanales horizontales en lugar a una altura de 1,20, en lugar de ventanales de suelo a techo mejoraría enormemente la demanda del edificio.

- Respecto a las ventanas de las viviendas, están conformadas por 1 hoja simple con marco de aluminio sin RPT, por lo que la colocación de una doble ventana podría llevar a la mejora energética de los mismos.
- La cubierta tiene especial relevancia, sobre todo en las plantas superiores donde la transmisión de calor se ve gravemente afectada dado el escaso aislamiento de la zona, por lo que una rehabilitación de esta podría equiparar las viviendas de última planta con las demás.

Por otro lado, se ha observado el informe de demanda a fin de esclarecer como está funcionando la transmisión de calor según vivienda:



Resumen de la demanda energética

A partir del informe podemos constatar diversas cuestiones:

- La altura influye en la demanda. El aire frío, al ser mas denso, se ubica en las zonas bajas, mientras que si ascendemos en altura encontramos aire con mayor calor. Esto implica que, conforme se aumenta de altura, las plantas mas bajas serán siempre más frías que las viviendas de plantas superiores, sin contar con las de última planta, pues en estas se debe contabilizar además la cubierta.
- La orientación también juega un papel fundamental en la configuración del edificio. Se puede observar como las viviendas A-B-C (Orientación Norte) tienen mayor demanda de calefacción que las viviendas D-E (Orientación Sur-Sureste).
- El hecho de tener un bloque colindando a este, pero con mayor altura hace que se genere sombras sobre el edificio de estudio, concretamente sobre las viviendas A-B-C. Esto hace que aumente aun mas la demanda en calefacción

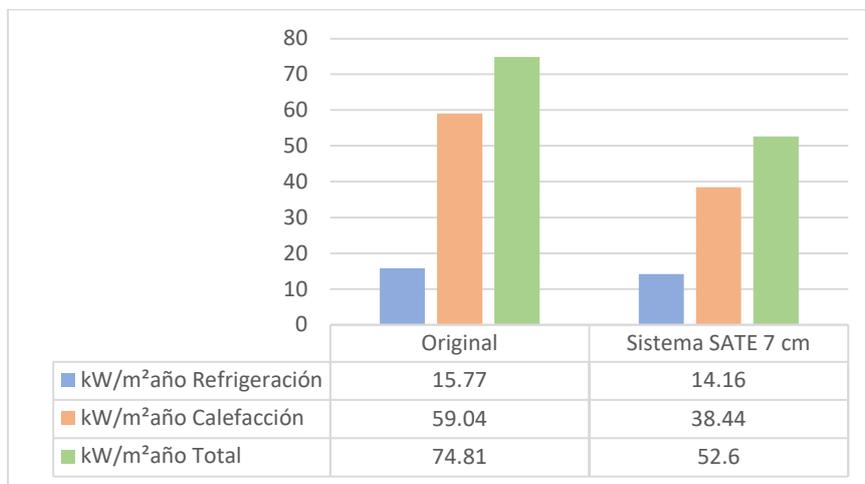
5.2.3 Soluciones de rehabilitación

En vista a los resultados de los análisis realizados en el edificio ubicado en la barriada de Los Pajaritos, se ha optado por incorporar soluciones basadas en el estado óptimo de estos elementos, pues los resultados de espesores no influyen debido a que están en la misma ubicación:

- Fachada:

Respecto a la tabla 5.2.2 “Resumen de la demanda energética”, podemos verificar que la altura influye en la demanda energética. Es por ello por lo que soluciones que incorporen aislamiento de forma escalonada podría proporcionar una optimización de la demanda, por ejemplo, incorporando SATE de manera general, con espuma de poliuretano PUR sobre las viviendas que peores condiciones tienen, a fin de unificar los valores de demanda entre estas. Sin embargo, medidas como estas son complicadas de ejecutar para un edificio existente ya que insuflar la cámara de aire con espuma de poliuretano no certifica que se vaya a distribuir de manera homogénea por toda la cámara. Aunque esta opción sea complicada de llevar a cabo en un edificio existente, es posible llegar a plantearse cuestiones como estas para edificios de obra nueva.

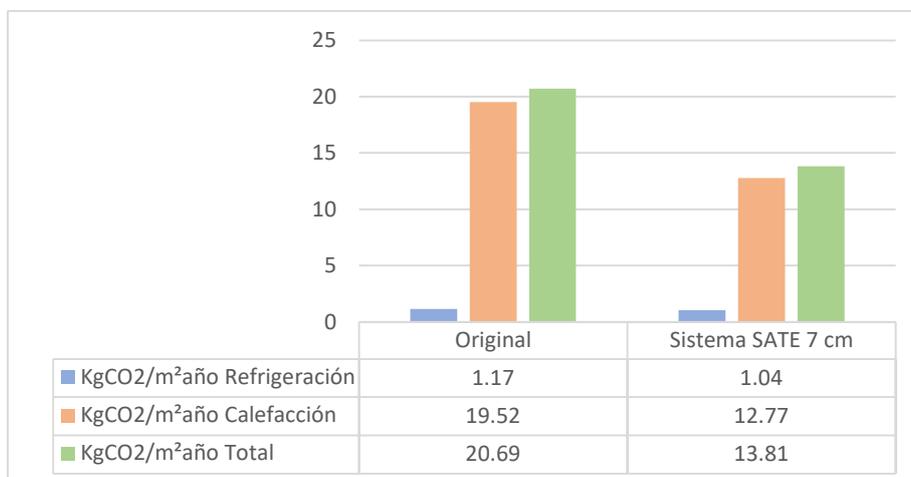
Por tanto, dada la morfología y diseño del edificio, se ha decidido incorporar un sistema SATE convencional, que mejore la demanda energética y elimine los puentes térmicos, con los consecuentes resultados:



Comparativa de la demanda original frente a la incorporación de un sistema SATE de 7 cm de aislamiento

La incorporación de este sistema sobre la envolvente permitiría reducir la demanda energética en un 29.69%, en gran medida, gracias a la eliminación de todos los puentes térmicos.

En cuanto a las emisiones de CO₂, se ha hecho un estudio sobre la mejora que esta solución podría proporcionar para reducirlo, obteniendo los siguientes resultados:



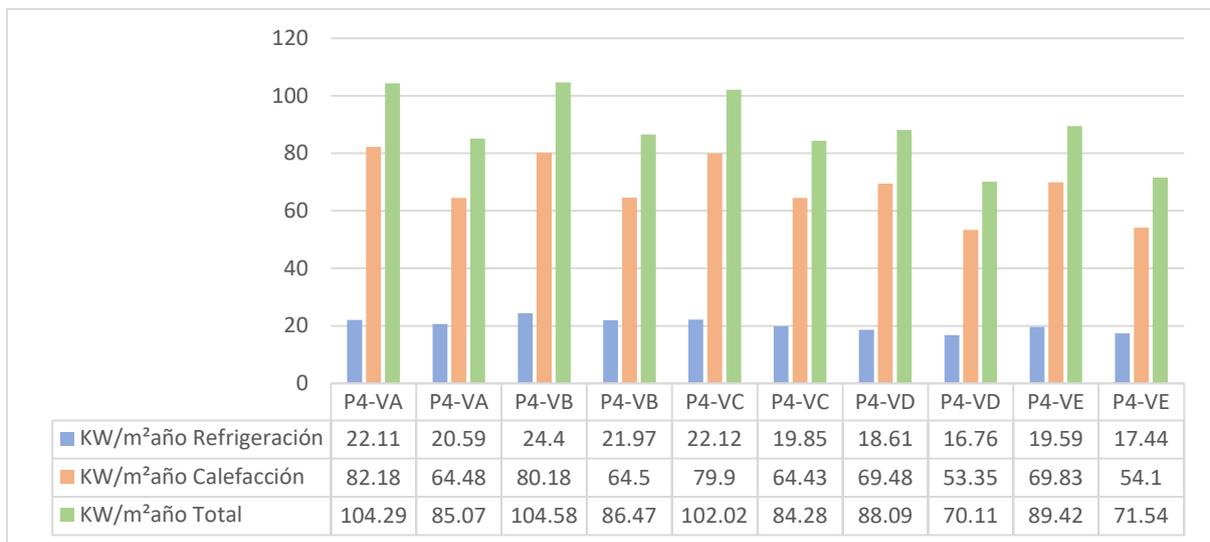
Mejora de CO₂ tras intervención

Una mejora de la envolvente reduciría sustancialmente el consumo de maquinas de HVAC, siendo utilizadas necesariamente cuando se superan los límites de estrés térmico establecidos en Código Técnico. De esta forma, una mejora de la fachada produciría una disminución en CO₂ de 33.26%.

- Cubierta

Como se ha podido comprobar en la tabla 5.2.2 “Resumen de la demanda energética”, la cubierta genera un aumento de la demanda energética en hasta 10 kW/m²año por vivienda, de ahí la importancia de su rehabilitación. Al ser una cubierta inaccesible, se optará por una solución de rehabilitación de cubierta plana no transitable con acabado de grava.

En el caso de la cubierta, se estudiarán la influencia que esta tiene sobre las viviendas de última planta:



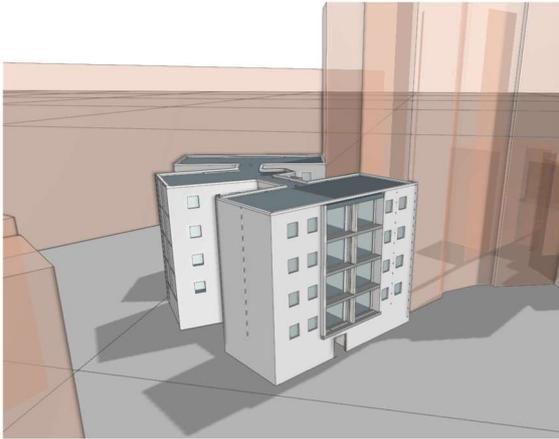
Comparativa de la demanda original frente a la propuesta. Respecto a cada vivienda, a la izquierda la demanda original, a la derecha la demanda tras la intervención.

La intervención de la cubierta proporciona una disminución de la demanda de 20 kW/m²año según vivienda, lo que representa una mejora del 19,43%. Respecto a emisiones, no resulta especialmente relevante su estudio, pues una única intervención sobre cubierta reduciría las emisiones únicamente sobre las plantas superiores, por lo que se vería afectada en menor medida.

- Huecos

Al ser un edificio de avanzada edad, se ve recomendable la utilización de un sistema de doble ventana en lugar de retirar las existentes para proporcionar un vidrio de 2 hojas con cámara de aire. Es por ello, por lo que, por un lado, se decide incorporar este tipo de sistema al igual que en el edificio de los Pajaritos. Además, se ha optado por reducir el tamaño del hueco del salón, pues este tipo de ventanales de suelo a techo proporcionan una enorme transmitancia.

En primer lugar, se decide realizar la reducción del tamaño de hueco del salón a fin de determinar el porcentaje de mejora de demanda que se genera. Para ello, se decide eliminar dicho ventanal, incorporando una ventana horizontal de 1,90x1,20, junto a una puerta acristalada que permita el acceso a la terraza, como se puede observar en las imágenes posteriores:

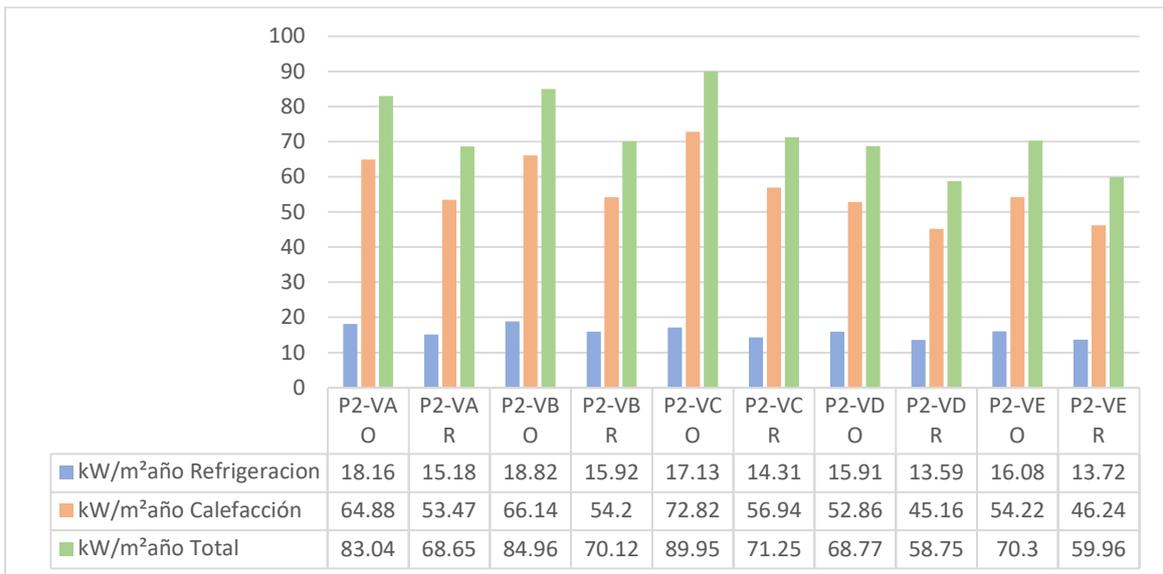


Estado inicial. Edificio existente



Estado reformado.

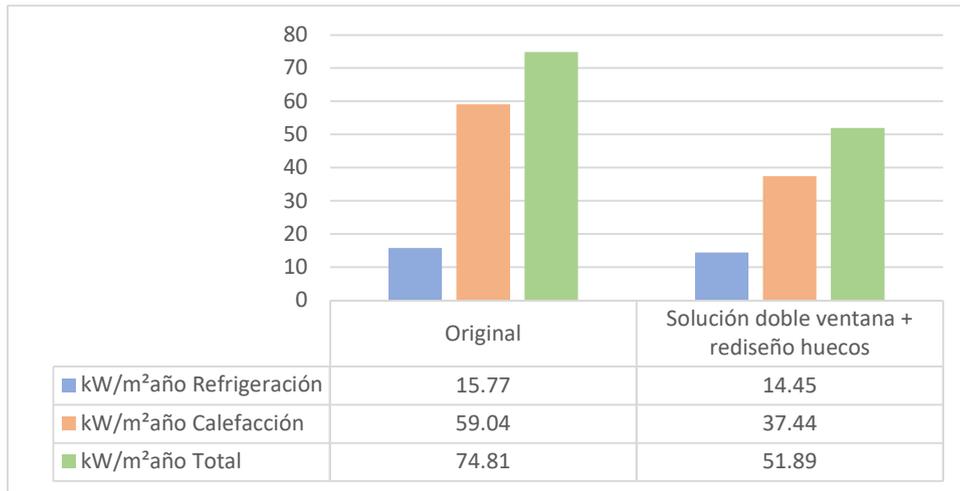
Para analizar los resultados, se ha tomado como análisis el estudio de una planta intermedia, en este caso la planta +2, aunque los resultados son extrapolables al resto de plantas con el mismo porcentaje de mejora.



Comparativa de la demanda original frente a la propuesta. Las viviendas con denominación "O" representa la demanda del edificio original. Las viviendas con denominación "R" representa la demanda del edificio con esta reforma.

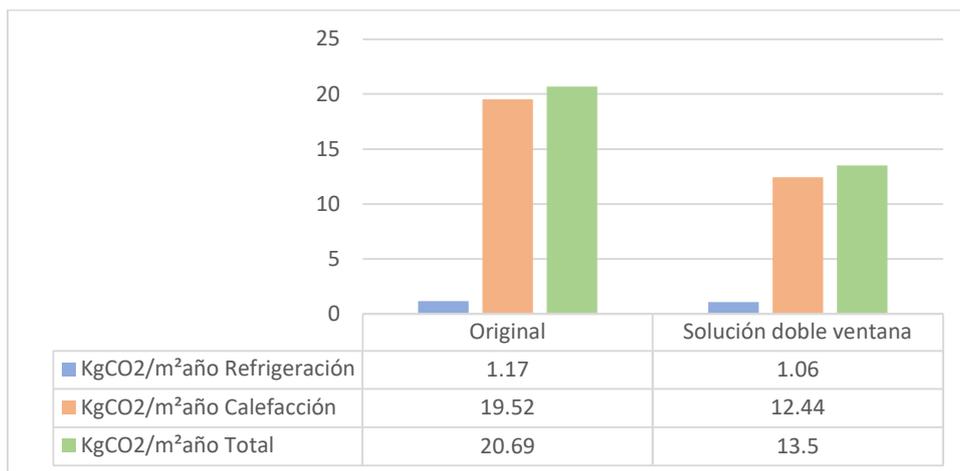
Como se puede apreciar, rediseño más adecuado en los huecos permite una mejora en la demanda energética de unos 15 kW/m²año, dependiendo de la orientación del hueco. De este modo, se deja patente que un correcto diseño del hueco y una correcta orientación de este permitiría reducir la demanda a valores muy inferiores.

Una vez obtenido el porcentaje de mejora, se decide colocar una solución de doble ventana para los huecos de ventana de los dormitorios y cocina, con los siguientes resultados:



Comparativa de la demanda original frente a la propuesta

Con esto, se puede verificar como la incorporación de doble ventana + rediseño del hueco del salón genera una mejora en la demanda de 22.92 kW/m²año, lo que equivale a una mejora del 30.64%. Respecto a las emisiones de CO₂, este tipo de solución provoca una disminución en el consumo, resultando en los siguientes datos:

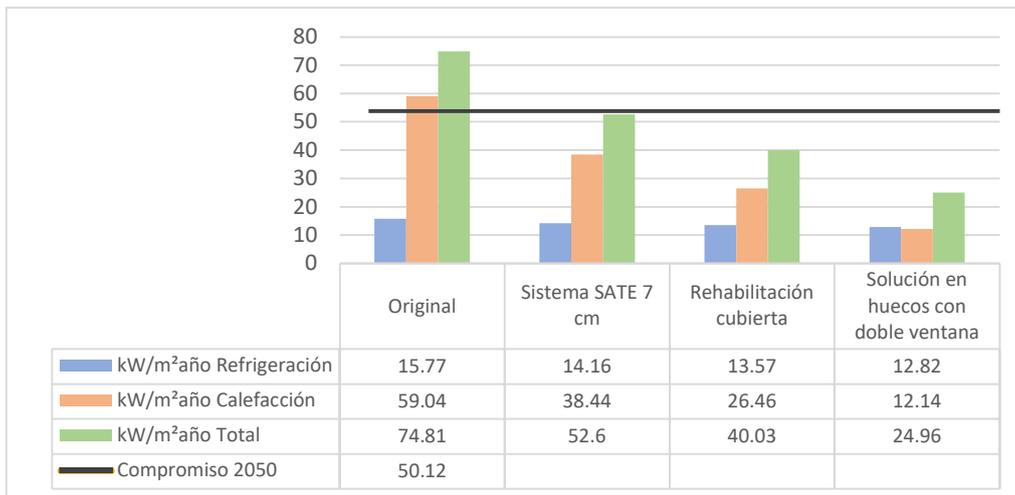


Comparativa de emisiones de CO₂ del edificio original frente a la propuesta

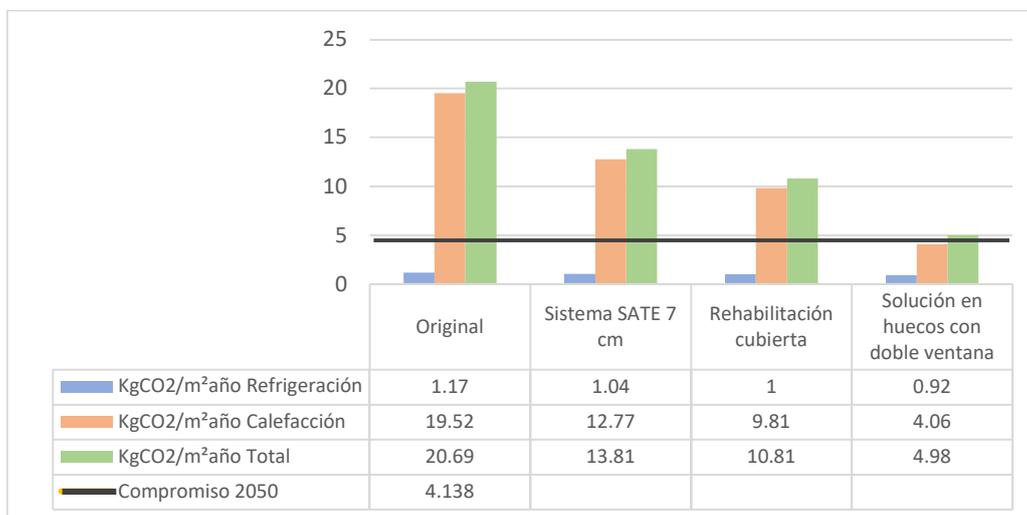
Con todo esto, podemos verificar como este tipo de soluciones mejora las emisiones de CO₂ en 7.19 kgCO₂/m²año, lo que equivale a 34.76%.

5.2.4 Propuesta definitiva

Tras un análisis de los resultados de manera desglosada, se incorporan todas las soluciones en conjunto a fin de observar como influyen las soluciones en la envolvente. Las soluciones de la tabla siguiente han sido realizadas de forma recurrente, es decir, se ha tomado como propuesta inicial el sistema SATE, y se han ido añadiendo las demás intervenciones sin eliminar las propuestas anteriores, siendo el apartado “solución en huecos con doble ventana”, la suma de las 3 propuestas en conjunto (propuesta final):



Evolución de las soluciones hasta propuesta final en demanda energética



Evolución de las soluciones hasta propuesta final en emisiones de CO₂

Observando los resultados finales, vemos como, con relación a la demanda energética, prácticamente se podría cumplir el compromiso 2050 de la directiva europea disponiendo 7 cm de aislamiento con un sistema SATE que elimine la mayor parte de puentes térmicos del edificio, consiguiendo el máximo ahorro añadiendo las 3 propuestas en conjunto, con una demanda final de 24.96 kW/m²año, representando un ahorro energético del 66.64%, muy superior al límite marcado por normativa del 27.00%.

En cuanto a las emisiones de CO₂, el conjunto de las propuestas hace reducir el consumo de los aparatos de ventilación y climatización existentes, ya que se alcanzan las temperaturas óptimas de confort térmico en las viviendas durante mayor tiempo. Esto genera que, con la incorporación de todas las propuestas se podría reducir las emisiones de CO₂ en un 75.93%. Con todo esto, no sería suficiente para cumplir los objetivos marcados por la directiva, ya que parten por ser muy ambiciosos, la cual exige una reducción de entre un 80-95%. Aunque no se cumplan los objetivos, la nueva propuesta queda con valores muy cercanos a dichos límites, por lo que una actualización de los equipos de ventilación y climatización con mejor rendimiento permitiría llegar al compromiso marcado.

5.2.5 Estudio económico y de viabilidad

Tras obtener los elementos de la envolvente a rehabilitar se procede a realizar su estudio económico para ver el precio por cada vivienda del coste de intervención, obtenidos a partir del precio unitario del generador de precios de Cype.

M² SISTEMA ETICS TRADITERM "GRUPO PUMA" DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR DE FACHADAS

Aislamiento térmico por el exterior de fachadas, con el sistema Traditerm EPS "GRUPO PUMA", con ETE 07/0054, compuesto por: panel rígido de poliestireno expandido, Traditerm Panel EPS "GRUPO PUMA", según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, fijado al soporte con mortero Traditerm "GRUPO PUMA", aplicado manualmente y fijaciones mecánicas con taco de expansión de polipropileno Traditerm "GRUPO PUMA"; capa de regularización de mortero Traditerm "GRUPO PUMA", aplicado manualmente, armado con malla de fibra de vidrio, antiálcalis, Traditerm "GRUPO PUMA", de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor y de 160 g/m² de masa superficial; capa de acabado de mortero acrílico Morcemcrl "GRUPO PUMA", color Blanco 100, sobre imprimación acrílica Fondo Morcemcrl "GRUPO PUMA". Incluso perfiles de arranque Traditerm "GRUPO PUMA", de aluminio, perfiles de cierre superior Traditerm "GRUPO PUMA", de aluminio, perfiles de esquina Traditerm "GRUPO PUMA", de PVC con malla, masilla selladora monocomponente Pumaelastic-Ms "GRUPO PUMA" y cordón de espuma de polietileno expandido de celdas cerradas para sellado de juntas. El precio incluye la ejecución de remates en los encuentros con paramentos, revestimientos u otros elementos recibidos en su superficie. Medida la superficie ejecutada.

	Unidad	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Sistema SATE 7 cm	Materiales								
	Perfil de arranque Traditerm "GRUPO PUMA" de aluminio, de 70 mm de anchura, con goterón, para nivelación y soporte de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior sobre la línea de zócalo; incluso kit de fijación para perfil.	0.94 €							
	Perfil de cierre superior, Traditerm Coronación "GRUPO PUMA", de aluminio, de 70 mm de anchura, para coronación de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior.	2.73 €							
	Mortero Traditerm "GRUPO PUMA", impermeable al agua de lluvia, permeable al vapor de agua y no propagador de la llama, para aplicar con llana, para adherir los paneles aislantes y como capa base, previo amasado con agua.	7.92 €							
	Panel rígido de poliestireno expandido, Traditerm Panel EPS "GRUPO PUMA", según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, con resistencia al envejecimiento y permeable al vapor de agua, resistencia térmica 1,58 m ² K/W, conductividad térmica 0,038 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego.	11.03 €							
	Taco de expansión de polipropileno Traditerm "GRUPO PUMA", de 110 mm de longitud, para fijación de placas aislantes.	1.68 €							
	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, Traditerm "GRUPO PUMA", de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor, de 160 g/m ² de masa superficial y de 1x50 m, para armar morteros.	1.76 €							
	Perfil de esquina Traditerm "GRUPO PUMA" de PVC con malla, para refuerzo de cantos.	0.38 €							
	Imprimación acrílica Fondo Morcemcrl "GRUPO PUMA", compuesta por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua, para aplicar con brocha, rodillo o pistola, para regularizar la absorción e incrementar la adherencia de morteros acrílicos.	0.84 €							
	Mortero acrílico Morcemcrl "GRUPO PUMA", color Blanco 100, compuesto por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, antimoho y antiverdín, permeable al vapor de agua y con resistencia al envejecimiento, a la contaminación urbana y a los rayos UV, para revestimiento de paramentos exteriores.	9.60 €							
	Cordón de polietileno expandido de celdas cerradas, de sección circular de 6 mm de diámetro, para el relleno de fondo de junta.	0.01 €							
	Cartucho de masilla monocomponente a base de polímeros híbridos, Pumaelastic-Ms "GRUPO PUMA", de 290 cm ³ , con dureza Shore A aproximada de 40, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 550%, según UNE-EN ISO 8339.	0.16 €							
	Mano de obra								
	Oficial 1ª montador de aislamientos.	1.94 €							
	Ayudante montador de aislamientos.	1.79 €							
Oficial 1ª revocador.	11.33 €								
Ayudante revocador.	10.74 €								
Costes directos complementarios									
Costes directos complementarios	1.26 €								
			64.11 €	1736.30	111,314.19 €	7,791.99 €	119,106.19 €	5,955.31 €	

Ud VENTANA CORREDERA ALUMINIO RPT 1100x1200 m

Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas correderas, dimensiones 1100x1200 mm, acabado lacado color blanco con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 33 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 4,0 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 26 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 3, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 7^a, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra.

	Unidad	Precio Unitario	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Sistema doble ventana	Materiales							
	Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas practicables, con apertura hacia el interior, dimensiones 1100x1200 mm, acabado lacado color blanco, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 68 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 2,8 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 46 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1650, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210	317.86 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%	4.14 €	382.33 €	80	30,586.40 €	2,141.05 €	32,727.45 €	1,636.37 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339.	1.74 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1º cerrajero.	30.50 €						
	Ayudante cerrajero.	19.01 €						
Costes directos complementarios	9.08 €							

M² CERRAM. 2 HOJAS ½ PIE LAD. PERF. CA + TAB. LAD. HD 7 CM

Cerramiento formado por fábrica de ladrillo de medio pie de espesor de ladrillo perforado 24x11,5x5 cm, cámara de aire de 5 cm, trasdosado con tabicón de ladrillo cerámico hueco doble de 24x11,5x7 cm, recibidos con mortero M5 de cemento CEM II/A-L 32,5 N, con plastificante, incluso enfoscado interior sin maestrear ni fratar con mortero de cemento M5, rejuntado. Medido deduciendo huecos.

	Descripción	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Muro 1m altura para incorporación de ventana corredera	Materiales							
	Ladrillo cerámico perforado acústico, para revestir, 24x11x10 cm, con un aislamiento a ruido aéreo de 45 dBA, para uso en fábrica protegida (pieza P), densidad 955 kg/m ³ , según UNE-EN 771-1.	11.78 €						
	Mortero industrial para albañilería, de cemento, color gris, categoría M-5 (resistencia a compresión 5 N/mm ²), suministrado a granel, según UNE-EN 998-2.	1.49 €						
	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar en obra	3.12 €						
	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar en obra.	0.62 €						
	BaldosIn catalán, acabado mate o natural, 8,00€/m ² , según UNE-EN 14411.	1.08 €						
	Equipo y maquinaria							
	Mezclador continuo con silo, para mortero industrial en seco, suministrado a granel.	0.22 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1º construcción en trabajos de albañilería.	10.23 €						
Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería	6.31 €							
Costes directos complementarios	1.05 €							
			35.90 €	38	1,364.20 €	95.49 €	1,459.69 €	72.98 €

Ud VENTANA CORREDERA ALUMINIO RPT 1900x1200 m

Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas correderas, dimensiones 1900x1200 mm, acabado lacado color blanco con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 33 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 4,0 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 26 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 3, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 7^a, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra.

	Unidad	Precio Unitario	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Ventana corredera de 3 hojas	Materiales							
	Ventana de aluminio corredera, con rotura de puente térmico, tres hojas correderas, dimensiones 1900x1200 mm, acabado lacado color blanco, compuesta de hoja de 33 mm y marco de 116 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 3,9 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 30 mm; con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 7A, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210.	538.44 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%	6.12 €	614.51 €	20	12,290.20 €	860.31 €	13,150.51 €	657.53 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339	2.57 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1º cerrajero.	32.93 €						
	Ayudante cerrajero	22.40 €						
Costes directos complementarios	12.05 €							

Ud PUERTA PRACTICABLE ALUMINIO RPT 900x2000 m

Puerta de aluminio, serie Stilo 50RPT, con rotura de puente térmico, una hoja practicable, con apertura hacia el interior, dimensiones 900x2000 mm, acabado lacado color blanco con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 50 mm y marco de 43 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = 3.5 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 44 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1200, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra. El precio no incluye el recibido en obra de la carpintería.

	Unidad	Precio Unitario	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Puerta acristalada en terraza	Materiales							
	Puerta de aluminio, serie Stilo 50 RPT, una hoja practicable, con apertura hacia el interior, dimensiones 900x2000 mm, acabado lacado color blanco, compuesta de hoja de 50 mm y marco de 43 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = 3.5 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 44 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1200, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210.	199.65 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%.	5.22 €	264.18 €	20	5,283.60 €	369.85 €	5,653.45 €	282.67 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339.	2.19 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1º cerrajero.	31.32 €						
	Ayudante cerrajero	20.62 €						
Costes directos complementarios	5.18 €							

M² REHABILITACIÓN DE CUBIERTA PLANA INVERTIDA NO TRANSITABLE CON PVC Y GRAVA

m² Rehabilitación de cubierta con acabado existente formada, a partir del soporte estructural, por capa de pendientes realizada con carbonilla. Colocación de nueva capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster, punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m²; Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plastómero APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t^a ≤ -15°C, Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m²; Panel rígido de poliestireno extruido de superficie lisa y mecanizado lateral a media madera de 50 mm de espesor de conductividad térmica 0,033 W/m²K (UNE EN 13164), capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N y acabado de cantos rodados lavados, de granulometría comprendida entre 16 y 32 mm.

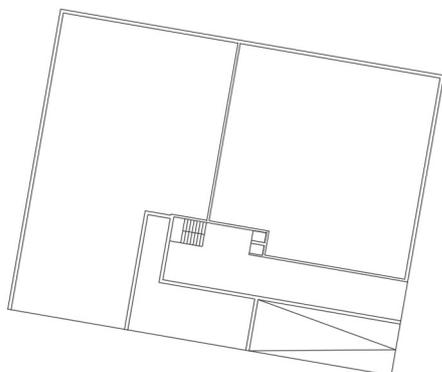
	Descripción	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda
Rehabilitación cubierta plana no transitable de uso privado	Materiales							
	Capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m ²	0.85 €						
	Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plastómero APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t ^a ≤ -15°C	6.50 €						
	Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m ²	1.26 €						
	Panel rígido de poliestireno extruido, según UNE-EN 13164, de superficie lisa y mecanizado lateral a media madera, de 50 mm de espesor, resistencia a compresión >= 300 kPa, resistencia térmica 1,5 m ² K/W, conductividad térmica 0,033 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego según UNE-EN 13501-1, con código de designación XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)300-DS(70,90)-DLT(2)5-CC(2/1,5/50)125-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1.	8.24 €	42.02 €	395.57	16,621.85 €	1,163.53 €	17,785.38 €	889.27 €
	Cantos rodados lavados, de granulometría comprendida entre 16 y 32 mm.	3.82 €						
	Mano de obra							
	Oficial 1 ^a construcción	3.44 €						
	Peón ordinario construcción	8.57 €						
	Oficial 1 ^a aplicador de láminas impermeabilizantes	2.70 €						
	Ayudante aplicador de láminas impermeabilizantes.	2.56 €						
	Oficial 1 ^a montador de aislamientos.	1.08 €						
	Ayudante montador de aislamientos.	0.99 €						
	Costes directos complementarios	2.01 €						

Se ha incluido una partida del 7% del coste total de obra para costes indirectos, así como cubetas, demoliciones, etc. Observando el cálculo de los costes de intervención de la mejora en la envolvente, deducimos que se precisará de un coste total de 189.882'70 €, por lo que, al existir 20 viviendas en total, encontramos un coste total asumible por vivienda de **9.211'4 €**.

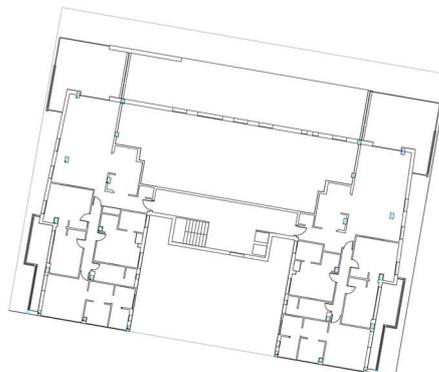
- Huecos: El precio total por vivienda para rehabilitar huecos es de 2.649'55 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 30.64%, reduciendo su demanda 25'92 kW/m²año
- Cubierta: El precio total por vivienda para rehabilitar la cubierta es de 889'27 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 10.51%.
- Fachada: El precio total por vivienda para rehabilitar la fachada es de 5.955'31 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 29.69 % reduciendo su demanda 30'21 kW/m²año.

5.3 Edificio 3. Barriada del Duque

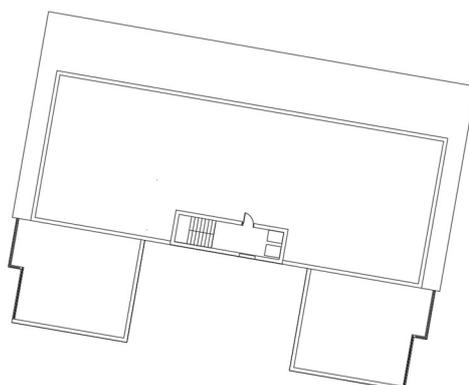
Este edificio presenta una planta rectangular, contando con planta baja destinadas a locales comerciales, 6 plantas en altura y garaje, con una cubierta transitable en donde actualmente se ubican almacenes de propietarios.



Planta baja



Planta tipo



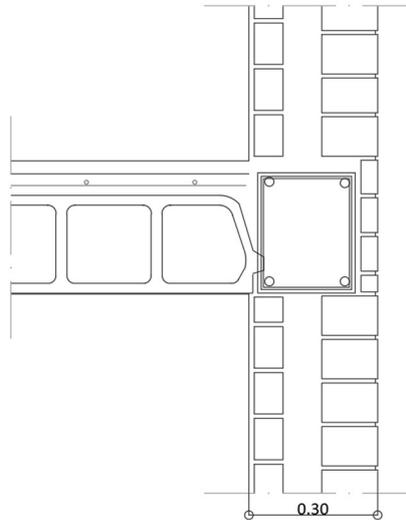
Planta de cubiertas

Para poder incluir los sistemas constructivos que definen al edificio, primeramente, se ha levantado el edificio en el software IFC Builder. Para ello, se han importado las plantas realizadas en AutoCAD a partir de mediciones realizadas "in situ". Tras esto, se ha generado la definición de la envolvente, diferenciando cada elemento según su orientación y altura, buscando obtener datos representativos de cada vivienda.



5.3.1 Sistemas constructivos

5.3.1.1 Fachadas



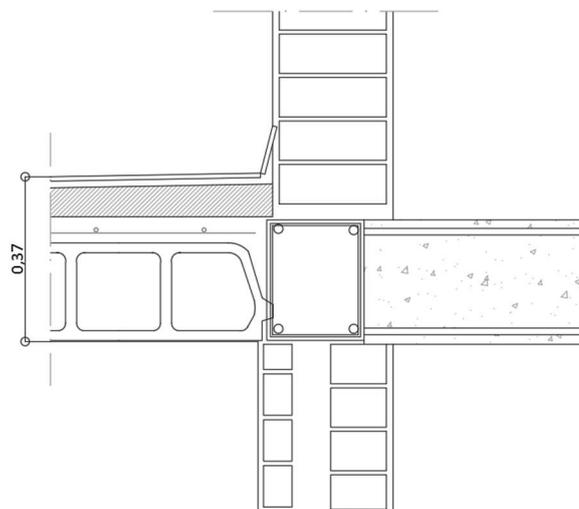
Encuentro fachada ½ pie LP + CA + Tabique LDH con forjado tipo

La fachada está ejecutada con una solución de dos hojas basada en un enfoscado de mortero al exterior, ½ pie de ladrillo perforado, cámara de aire, ladrillo hueco doble y enlucido de yeso en su interior.

La incorporación de dos hojas con cámara de aire reduce la demanda energética del edificio frente a las antiguas soluciones basadas en 1 pie de ladrillo de macizo, sin embargo, está muy por encima de los requisitos de Código Técnico y de la directiva europea 2018/844.

Por otro lado, podemos encontrar grandes puentes térmicos tanto en encuentros de forjado como en pilares, por lo que soluciones de aislamiento térmico en el exterior son las soluciones idóneas de rehabilitación, pues, aunque se pueda insuflar la cámara de aire y mejore la transmitancia, esto es complejo y de ninguna manera puede ser homogéneo.

5.3.1.2 Cubierta



Este tipo de cubierta está conformada por un forjado unidireccional con entrevigado de hormigón, una formación de pendiente con carbonilla y una baldosa cerámica. Este tipo de cubiertas genera gran inercia térmica debido a su masividad, pero conlleva una gran transmitancia de calor ($1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), por lo que es un elemento de la envolvente importante a aislar, tratando de mejorar su inercia térmica del mismo modo que en el caso de la fachada.

Por otro lado, la cubierta cuenta con un voladizo perimetral que genera sombra sobre las plantas las ventanas de las plantas superiores.

5.3.1.3 Huecos

Los huecos están compuestos por ventanas de $1,40 \times 1,20 \text{ m}$ de 1 hoja simple con marco de aluminio y un ventanal de suelo a techo en salones y dormitorios. Para hacer un análisis más exhaustivo sobre estos, es recomendable observar la posición de estos sobre la envolvente:



Situación



A partir de su situación podemos comprobar como la configuración de las terrazas genera grandes cantidades de sombra sobre la superficie vidriada, a excepción de las ventanas de salón de las viviendas este y oeste. Estas sombras son buenas en verano, reduciendo en gran medida la demanda de refrigeración, sin embargo, durante los meses de invierno, las pérdidas por transmisión de calor e infiltraciones hace que los huecos resulten tremendamente ineficientes. Por ello, es necesario realizar una actuación sobre estos que disminuya la demanda.

5.3.2 Análisis de los resultados

Tras incorporar todos los elementos de la envolvente térmica obtenemos que el coeficiente de transmisión de calor global "K" es muy superior a los valores límites establecidos en código técnico, siendo $K=1,70 \text{ W/m}^2\text{K} < K_{lim} = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esto es algo esperable, pues los edificios de la época apenas contaban con intenciones de reducir la demanda energética y la transmisión de calor del edificio. Observando más detenidamente los porcentajes de transmisión de calor podemos esclarecer que elementos son los más influyentes en el edificio, con la finalidad de poder resolverlos:

	S (m ²)	L (m)	K _i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 2333.41 m²				
Fachadas	1357.32	--	0.35	20.86
Suelos en contacto con el terreno	93.97	--	0.01	0.73
Suelos con el paramento inferior expuesto a la intemperie	193.27	--	0.14	8.20
Cubiertas	366.59	--	0.23	13.27
Huecos	322.26	--	0.35	20.76
Puentes térmicos	--	2493.273	0.61	36.17

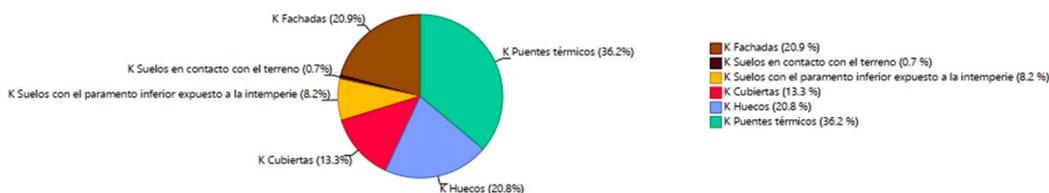
donde:

S: Superficie, m².

L: Longitud, m.

K_i: Coeficiente parcial de transmisión de calor, W/(m²·K).

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor., %.



Con ello, podemos observar un par de cuestiones:

- Al ser un edificio con orientación norte y medianera al sur la fachada no tiene una gran repercusión sobre la fachada, pues, al contar con grandes zonas de sombra no se genera excesiva ganancia solar.
- Respecto a los huecos, estos representan el primer elemento de la envolvente a rehabilitar. Al contar con una excesiva superficie acristalada, e incluso ventanales de suelo a techo, la transmitancia térmica generada es elevada.
- En relación a los puentes térmicos, se observa como existe un gran número de los mismos, dado que es una edificación de los 70 en donde no existía una preocupación por la resolución de los mismos. Por tanto, será prioritario disponer de aislamiento exterior que impida la transmitancia sobre estos elementos.

- La cubierta ocupa el último lugar a rehabilitar. En este caso, representa un 13,3% del coeficiente global de transmisión de calor, debido a su gran superficie, por lo que una colocación de aislamiento sobre la cubierta transitable puede resultar muy efectiva.

Por otro lado, se ha observado el informe de demanda a fin de esclarecer como está funcionando la transmisión de calor según vivienda:

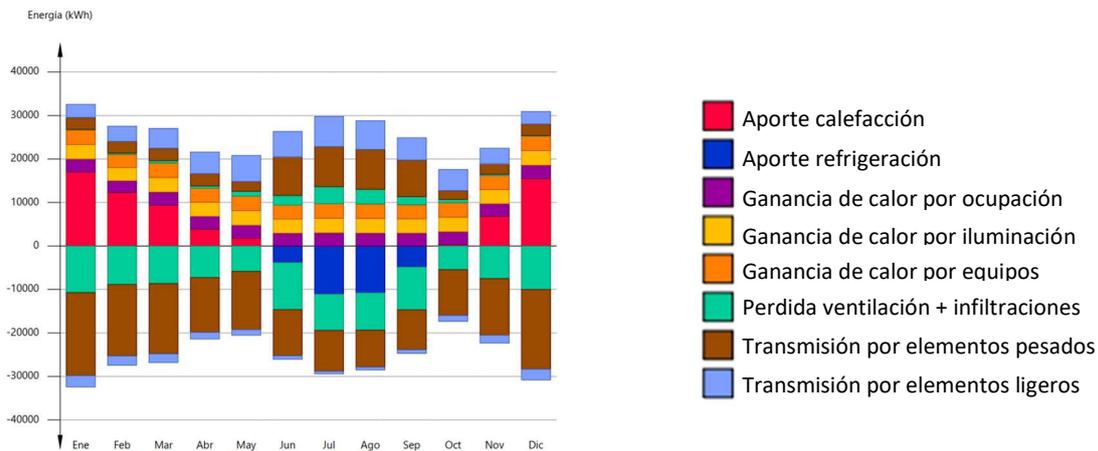


Resumen de la demanda energética

A partir del informe podemos constatar diversas cuestiones:

- La altura no influye en este caso en la demanda, dado la gran cantidad de sombras que existen en el edificio, las cuales impiden ganancias térmicas.
- La orientación también juega un papel fundamental en la configuración del edificio. Se puede observar como las viviendas B (Orientación Norte) tienen menor demanda que las de tipo A y C (orientación oeste-este).
- Las diferencias en cuanto a su situación urbana también influyen. Se puede observar como las viviendas al oeste (tipo A), al estar muy cercana a la fachada opuesta de otra edificación ve reducida la demanda en refrigeración, sin embargo, las viviendas al este (tipo C), al ser más permeables al sol obtienen menor demanda de calefacción debido a las ganancias solares que se generan sobre estas, a diferencia del tipo A.
- El hecho de tener un bloque colindando a este, pero con mayor altura hace que se genere sombras sobre el edificio de estudio, concretamente sobre las viviendas A-B-C. Esto hace que aumente aún más la demanda en calefacción
- Respecto a las viviendas de planta +5 y +6, estas ven aumentadas su demanda debido a la cubierta, que incide en gran medida en ellas, por lo que la incorporación de aislamiento sobre ellas podría reducir la demanda a valores similares a las plantas intermedias.

Por otro lado, observando el balance energético anual del edificio podemos sacar más cosas en claro:



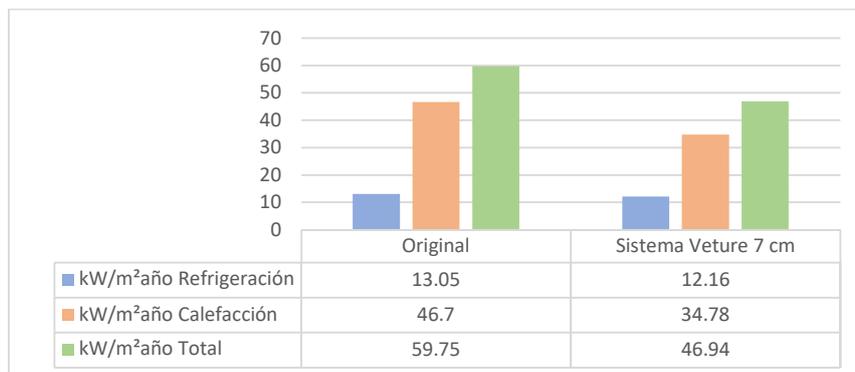
A partir de dicho balance se puede intuir ciertas nociones sobre que está ocurriendo en el edificio:

- Por un lado, vemos como la transmisión de los elementos pesados (fachada y cubierta) no tienen especial repercusión en la envolvente, por lo que no parece que incorporar aislamiento mejore demasiado la demanda.
- Respecto a los elementos ligeros (huecos), estos generan un aumento notable en la carga térmica generada, por lo que es recomendable su rehabilitación, aun más cuando se observan las pérdidas por infiltraciones, las cuales son muy elevadas dada la precaria solución que tiene actualmente (vidrio de 1 hoja simple con carpintería de aluminio sin RPT). Una modificación en cuanto a huecos podría llegar a ser lo más conveniente para este edificio.
- Al ser un edificio con orientación principal al norte, las ganancias y pérdidas no son tan notorias como en los otros edificios de estudio, sin embargo, la gran cantidad de sombras aumenta la demanda en calefacción en los meses de invierno, por lo que un aislamiento por el exterior que mejore la inercia térmica en fachada puede resultar muy útil.

5.3.3 Soluciones de rehabilitación

- Fachada

Dada la morfología y diseño del edificio, se ha decidido incorporar un sistema Vature con 7 cm de aislamiento, pues la fachada actual cuenta con una solución cara vista. Para conocer la utilidad de este tipo de sistema sobre la envolvente, se decide realizar un estudio incorporándolo sobre toda su fachada para confirmar su viabilidad:



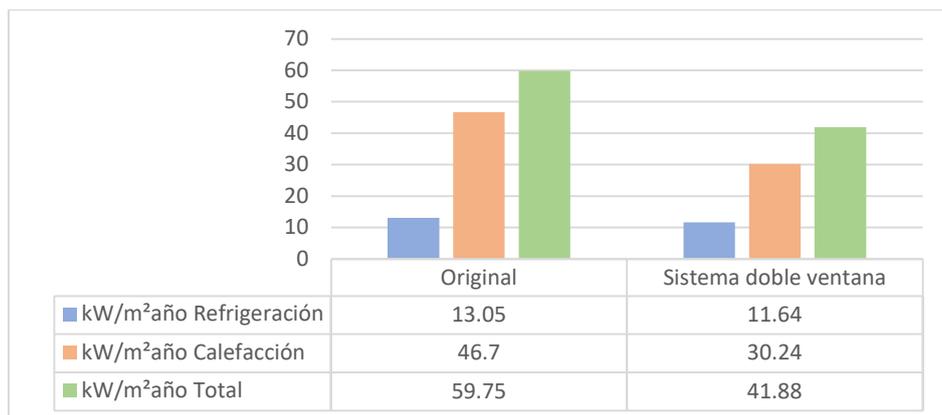
Comparativa de la demanda original frente a la incorporación de un sistema Vature de 7 cm de aislamiento

La mejora de la envolvente con el sistema Vature con XPS 7 cm de espesor, incluso eliminando la mayor de puentes térmicos, no repercute de forma tan drástica en una mejora de la demanda energética, reduciendo escasos 15 kW/m²año. Esto es debido a la gran cantidad de terrazas que generan sombra sobre toda la superficie, la cual no permite obtener ganancias térmicas y, por ende, tener unas temperaturas mas o menos estables a lo largo de todo el año.

Aunque no sea un elemento que mejore en gran medida a la envolvente, si que puede ser tenido en cuenta de cara a un futuro estudio sobre las emisiones de CO₂, pudiendo ser aconsejable su intervención, aunque también podría suplirse con una actualización de los equipos HVAC o incorporando recuperadores de calor.

- Huecos

Como hemos visto anteriormente en el análisis sobre la envolvente del edificio, el elemento de la envolvente con mayor transmitancia, y, por ende, el de mayor interés a ser rehabilitado son las ventanas. Este edificio cuenta con las ventanas originales del edificio de la época de los 70, por lo que, además de tener gran transmitancia en el vidrio y marco (5,7 W/m²K), cuenta con un gran porcentaje de infiltraciones (1.07 ren/h), por lo que una mejora en estos elementos resulta esencial para reducir tanto transmitancia como infiltraciones. Para ello, se utilizará un sistema de doble ventana, observando el porcentaje de mejora que este tiene en relación al edificio original:

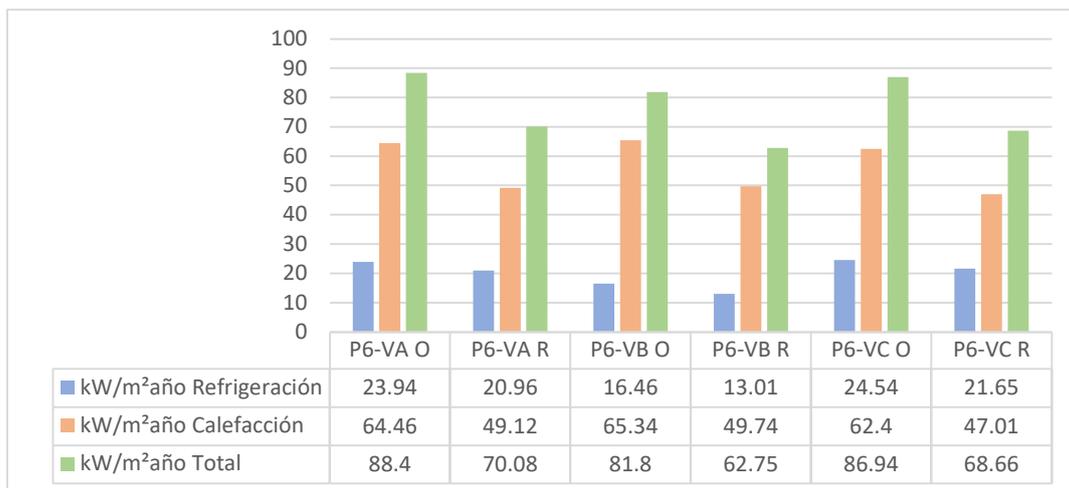


Comparativa de la demanda original frente a la incorporación de un sistema de doble ventana

Como se puede apreciar, la mejora es cuantitativa, reduciendo la demanda en casi 20 kW/m²año, representando un 30% de mejora respecto al edificio original. Con este tipo de soluciones, podemos bajar la transmitancia a valores razonables al reducir la transmitancia del conjunto a 2 W/m²K, y el marco con rotura de puente térmico a 2'8 W/m²K, además de reducir la cantidad de infiltraciones de aire hasta prácticamente la mitad (0.54 ren/h).

- Cubierta

La tipología de cubierta que nos encontramos es a la andaluza, una tipología típica en la época del edificio. Esta tiene gran inercia térmica, funcionando relativamente bien en verano, pero sufriendo en gran porcentaje para los meses de invierno. Tras lo visualizado en los estudios hechos en el edificio localizado en la barriada de Los Pajaritos, observamos como para este tipo de cubiertas no es óptimo la colocación de una cubierta vegetal, por lo que nos decantamos por incorporar baldosas de mortero con XPS de 5 cm de espesor que reduzcan la demanda energética de las plantas superiores. De este modo, obtenemos los siguientes resultados:



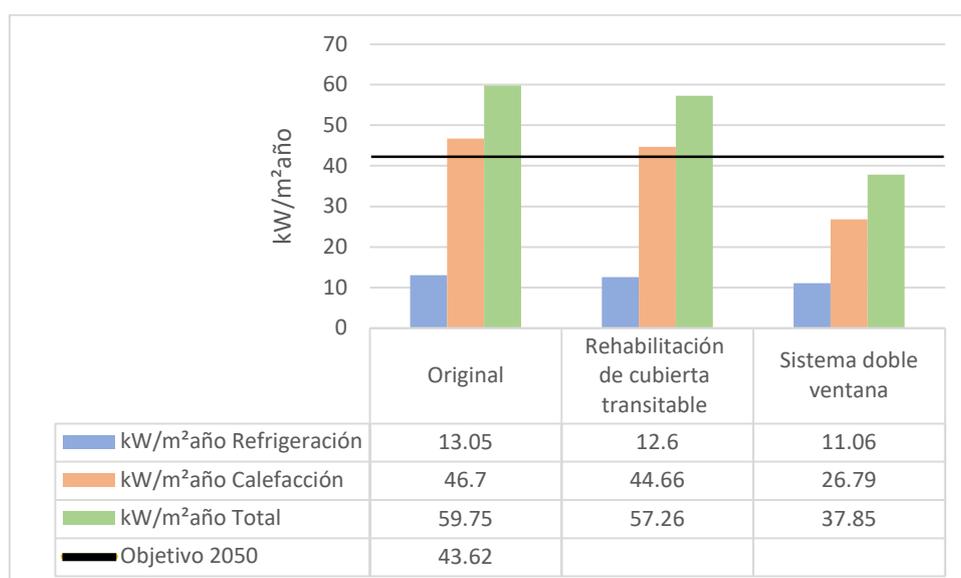
Comparativa de la demanda original frente a la rehabilitación de cubierta con XPS. Las viviendas con denominación "O" representa la demanda original, las viviendas con denominación "R" representa la demanda tras su reforma

A partir de los resultados extraídos podemos esclarecer que una intervención en la cubierta permite mejorar hasta 20 kW/m²año la demanda de las viviendas de la planta superior, pudiendo tener los mismos niveles que las plantas intermedias.

5.3.4 Propuesta definitiva

El sistema Veture no resulta especialmente relevante en la envolvente, pues, teniendo en cuenta que la superficie a colocar este sistema es de 1357,32 m², solo es capaz de mejorar la envolvente en 13 kW/m²año, dado que no existe una gran ganancia térmica debido a las sombras arrojadas que generan las terrazas sobre los paramentos, manteniendo una temperatura mas o menos estable todo el año, por lo que su incorporación no resulta eficiente dado su coste en comparación a su mejora (111'03 €/m²).

Por ello, se ha decidido incorporar únicamente una mejora en las ventanas y cubierta, obteniendo los siguientes resultados:

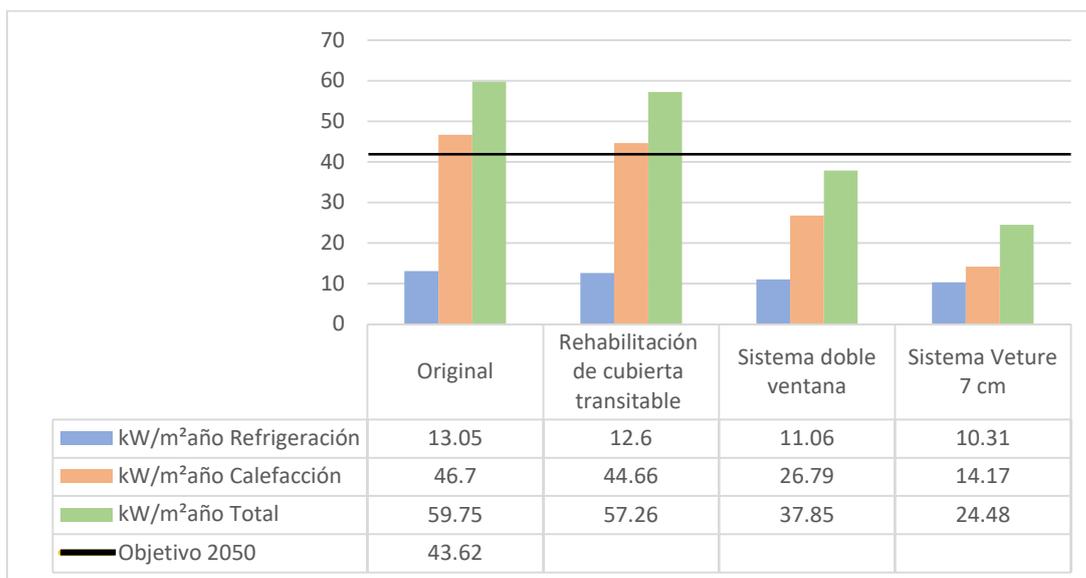


Evolución de la demanda tras incorporar todas las intervenciones

Podemos observar como la mayor respuesta en rehabilitación la está haciendo los huecos tras la incorporación de una segunda ventana, que aisle térmicamente los recintos. Con una solución en cubierta y ventanas, se podría llegar a conseguir los objetivos marcados por la directiva europea, con una mejora de eficiencia energética del 36.66%.

Por tanto, la solución óptima para esta edificación sería incorporar los sistemas pasivos introducidos anteriormente, añadiendo por otro lado recuperadores de calor en las viviendas que mejoren la eficiencia energética y reduzcan las emisiones de CO₂.

De igual modo, aunque no es óptimo incorporar un sistema Vetur en la envolvente debido a la mejora que supone respecto a precio, se incluye lo que todos los elementos, sistema Vetur incluido, mejoraría en la envolvente:



Evolución de la demanda tras incorporar el Sistema Vetur a la propuesta

Si se incluyese una rehabilitación completa, se conseguiría obtener una mejora energética del 59.03%

5.3.5 Estudio económico y de viabilidad

Tras obtener los elementos de la envolvente a rehabilitar se procede a realizar su estudio económico para ver el precio por cada vivienda del coste de intervención, obtenidos a partir del precio unitario del generador de precios de Cype.

Ud VENTANA CORREDERA ALUMINIO RPT 1400x1200 m

Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas correderas, dimensiones 1400x1200 mm, acabado lacado color blanco con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 33 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: U_{h,m} = desde 2'8 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 26 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 3, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 7^a, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra.

	Unidad	Precio/Unidad	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Sistema doble ventana en hojas de 1400x1200	Materiales								
	Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, dos hojas practicables, con apertura hacia el interior, dimensiones 1400x1200 mm, acabado lacado color blanco, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 68 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: Uh,m = desde 2,8 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 46 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1650, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210		396.24 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%		4.14 €	463.84 €	102	47,311.68 €	3,311.82 €	50,623.50 €	2,812.42 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339.		1.74 €						
	Mano de obra								
	Oficial 1ª cerrajero.		30.50 €						
Ayudante cerrajero.		19.01 €							
Costes directos complementarios		12.21 €							

Ud VENTANA PRACTICABLE ALUMINIO RPT 500x1200 m

Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, una hoja practicable, con apertura hacia el exterior, dimensiones 500x1200 mm, acabado lacado color blanco, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 68 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: Uh,m = desde 2,8 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 46 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1650, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e interior, entre la carpintería y la obra.

	Unidad	Precio/Unidad	Precio/Ud	Unidad	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Sistema doble ventana en hojas de 500x1200	Materiales								
	Ventana de aluminio, gama media, con rotura de puente térmico, una hoja practicable, con apertura hacia el exterior, dimensiones 500x1200 mm, acabado lacado color blanco, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, compuesta de hoja de 68 mm y marco de 60 mm, junquillos, galce, juntas de estanqueidad de EPDM, manilla y herrajes, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: Uh,m = desde 2,8 W/(m²K); espesor máximo del acristalamiento: 46 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E1650, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, según UNE-EN 12210.		315.06 €						
	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%		3.15 €	370.05 €	32	11,841.60 €	828.91 €	12,670.51 €	703.92 €
	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339.		1.32 €						
	Mano de obra								
	Oficial 1ª cerrajero.		27.00 €						
Ayudante cerrajero.		16.26 €							
Costes directos complementarios		7.26 €							

m² REHABILITACIÓN DE CUBIERTA PLANA INVERTIDA BICAPA

Rehabilitación de cubierta plana con acabado existente formada, a partir del soporte estructural, por capa de pendientes realizada con carbonilla. Colocación de nueva capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster, punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m²; Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plástomérico APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t^a ≤ -15°C (LBM-40-PE+PE según UNE 104410:2013), Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m²; Baldosa aislante visitable compuesta por una base de espuma de poliestireno extruido con estructura de célula cerrada de 50 mm de espesor de conductividad térmica 0,036 W/m²K (UNE EN 13164), autoprotégida en su cara superior con una capa de mortero de 35 mm de espesor, compuesta por áridos seleccionados y aditivos especiales, con acabado rugoso rústico en gris.

	Descripción	Precio/m ² U	Precio/m ²	Superficie actuación m ²	Precio total sin coste indirecto	Costes indirectos (7% del coste total)	Precio total	Precio/vivienda	
Rehabilitación cubierta plana transitable de uso privado	Materiales								
	Capa separadora de geotextil no-tejido de fibras 100% poliéster punzonado mecánicamente mediante agujas con posterior tratamiento térmico y calandrado con de resistencia biológica a hongos y bacterias con un gramaje de 200 grs/m ²	0.85 €							
	Membrana impermeabilizante bicapa NO ADHERIDA al soporte formada por LBM plástomérico APP con doble armadura de film de Polietileno coextrusionado (PE+PE) con una flexibilidad a bajas t ^a ≤ -15°C	6.50 €							
	Capa separadora de geotextil no tejido de fibras 100% poliéster, con resistencia a la tracción de 4,89 kN/M (UNE EN ISO 10319) y de resistencia al punzonamiento estático (CBR) de 820 N (UNE EN ISO 12236) con un gramaje de 300 grs/m ²	1.26 €							
	* Baldosa aislante visitable compuesta por una base de espuma de poliestireno extruido con estructura de célula cerrada de 50 mm de espesor de conductividad térmica 0,036 W/m ² K (UNE EN 13164), autoprotégida en su cara superior con una capa de mortero de 35 mm de espesor, compuesta por áridos seleccionados y aditivos especiales, con acabado rugoso rústico en gris.	15.63 €		67.04 €	332.16	22.268.01 €	1.558.76 €	23.826.77 €	1.588.45 €
	Mortero de juntas cementoso mejorado, con absorción de agua reducida y resistencia elevada a la abrasión, tipo CG2 W A, según UNE-EN 13888, color blanco, para juntas de 2 a 15 mm, a base de cemento de alta resistencia, cuarzo, aditivos especiales, pigmentos y resinas sintéticas, para rejuntado de todo tipo de piezas cerámica	0.04 €							
	Mano de obra								
	Oficial 1 ^a construcción	2.10 €							
	Peón ordinario construcción	15.18 €							
	Oficial 1 ^a aplicador de láminas impermeabilizantes	3.75 €							
	Ayudante aplicador de láminas impermeabilizantes.	3.56 €							
	Oficial 1 ^a montador de aislamientos.	1.21 €							
	Ayudante montador de aislamientos.	1.12 €							
	Oficial 1 ^a soldador.	9.38 €							
Ayudante soldador.	4.45 €								
Costes directos complementarios	2.01 €								

Se ha incluido una partida del 7% del coste total de obra para costes indirectos, así como cubetas, demoliciones, etc. Observando el cálculo de los costes de intervención de la mejora en la envolvente, deducimos que se precisará de un coste total de 87.120'78 €, por lo que, al existir 20 viviendas en total, encontramos un coste total asumible por vivienda de **5.104'78 €**.

- Huecos: El precio total por vivienda para rehabilitar huecos es de 3.516'34 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 30%, reduciendo su demanda 17'87 kW/m²año
- Cubierta: El precio total por vivienda para rehabilitar la cubierta es de 1.588'45 €, contribuyendo a un porcentaje de mejora del 6'66%.

6. Conclusiones

Tras el análisis efectuado en los 3 edificios de estudio, podemos tomar en consideración diversas cuestiones importantes a la hora de realizar rehabilitaciones en edificios existentes y ejecutar edificaciones de obra nueva:

- Las viviendas actuales de Sevilla de la época de estudio (1900 a 1979) fueron concebidas para no contar con climatización, ya que se jugaba con la inercia térmica de los elementos para que resultasen eficientes en los meses de verano. Sin embargo, para los meses de inviernos estos sistemas resultaron ser ineficientes, por lo que sería de gran utilidad realizar intervenciones a edificios existentes que tuvieran en cuenta esto.
- La altura puede jugar un papel fundamental, tanto en edificios de nueva planta como existentes. Sin embargo, hay que observar la ganancia solar que se produce en estos, pues orientaciones al norte o edificios con gran cantidad de sombra no ven influenciada su demanda.
- Para cumplir con las directivas europeas, es necesario actuar sobre los sistemas, sino no es posible llegar a las solicitaciones marcadas. Un buen modo de operar sería mejorar los equipos de climatización y/o incorporar recuperadores de calor sobre las viviendas que mejoren el SCOP de los sistemas, además de mejorar la envolvente.
- Las cubiertas ajardinadas no resultan tan eficientes como podría ser la incorporación de aislamiento sobre estas. Además, una cubierta ajardinada conlleva un gran mantenimiento y la proliferación de insectos, por lo que no es un buen ejemplo de rehabilitación.
- Las actuaciones sobre ventanas mejoran la estanqueidad en el edificio de manera notoria, reduciendo el consumo. Sin embargo, se debe tener cuidado de seguir cumpliendo con las solicitaciones en cuanto a ventilación se refiere del CTE.
- Con relación a los costes de intervención, se observa como estos son asequibles, pues podrían ser amortizados en cuestión de meses y empezar a ser rentables en poco tiempo.
- Los huecos juegan un papel fundamental en la demanda energética del edificio. Es primordial su estudio en base a su orientación y morfología, pues una colocación arbitraria de estos, sin estudio de demanda, conlleva un aumento en la demanda notorio.
- La morfología urbana es una cuestión primordial en cuanto a demanda energética se refiere. Se debe tener cuidado con las sombras y distancias entre edificios, pues esto hace que varíe la demanda en gran cantidad.
- Las ventanas de suelo a techo son muy poco eficientes, generando muchísima transmisión de calor por el salto térmico de estas. Es recomendable modificar estas por ventanas horizontales.
- La incorporación de un trasdosado con un SATE no repercute en absoluto en la demanda energética final, es más, puede llegar a ser perjudicial dado que reduciría la inercia térmica de la envolvente, provocando un aumento en la demanda.

7. Bibliografía

- [1] Domínguez Amarillo, Sendra Salas, J. J., & Oteiza San José, I. (2016). *La envolvente térmica de la vivienda social: el caso de Sevilla, 1939 a 1979*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- [2] *Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación: documento Reconocido DRD 07-11, Decreto 132/2006 del Consell* (2011). Instituto Valenciano de la Edificación.
- [3] Domínguez Amarillo, & Sendra Salas, J. J. (2016). *Building envelopes and social housing in southern Europe energy assessment of the residential social stock of the city of Seville under the climate change scenario*. [s.n.].
- [4] Segura Rivera, & Domínguez Amarillo, S. (2019). *Aplicación de técnicas pasivas para mejorar las capacidades térmicas de un bloque tipo H. Mejoras según criterios Passivhaus-Enerphit en contraposición con la normativa existente del CTE DB HE 0 y CTE DB HE 1 TFG junio 2019, Grupo G*.
- [5] *Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces*. Ignacio Acosta, Miguel Ángel Campano, Juan Francisco Molina. Publicado en Applied Energy Volume 168, 15 April 2016, Páginas 493–506
- [6] Fernández-Agüera, Domínguez Amarillo, Campano, Acosta, Bustamante: *Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01*. Universidad de Sevilla
- [7] Nicol, Humphreys, M. A., Roaf, S., & Humphreys, M. A. (Michael A. (2012). *Adaptive thermal comfort : principles and practice*. Routledge.
- [8] Santamaria, Girón, Campano (2016). *Economic assessments of passive termal rehabilitations of dwellings in Mediterranean climate*.
- [9] Requena Garcia, Díaz Borrego, Romero Sánchez, Morales Esteban, Campano Laborda. (2022). *Assessment of integrated solutions for the combined energy efficiency improvement and seismic strengthening of existing URM buildings*
- [10] Real Fundación, Patronato de la Vivienda de Sevilla *Dossier Corporativo*. «<https://rfpv.es/assets/files/Boceto%2003%20RFPV%20Dossier.pdf>»
- [11] BOE (30 de mayo de 2018). *Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo y del consejo por la que se modifica la directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética*. «<https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>»
- [12] Diego J. Geniz (2018). *Sevilla posee 16.000 edificios con más de 70 años*. El Diario de Sevilla. «https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Sevilla-edificios-70-anos-antiguedad_0_1313868795.html»
- [13] Sanchez, R (2022) *¿Cuánto ha crecido tu ciudad desde que naciste? El mapa de la edad de cada edificio en España*. ElDiario.es. «https://www.eldiario.es/economia/crecido-ciudad-naciste-mapa-edad-espana-catastro-ano-urbana-edificio_1_8582771.html»
- [14] Pozo Lama, L (2014) *Solución para rehabilitación energética de edificios a través de su envolvente térmica. Aislamiento termo-acústico insuflado con Lana Mineral Virgen. Construible* «<https://www.construible.es/comunicaciones/solucion-para-rehabilitacion->

energetica-edificios-traves-envolvente-termica-aislamiento-termo-acustico-insuflado-lana-mineral-virgen»

- [15] IDAE (2022). *Consumo por usos del sector residencial*. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. «<https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php>»
- [16] Orozco Sánchez. (2015). *Experto en rehabilitación de edificios : análisis de patologías y reparación*. IC Editorial.

8. Anexos

8.1 Cálculo de estanqueidad al aire

8.1.1 Edificio 1. Barriada de Los Pajaritos

- Edificio original



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language

Año de construcción
n50

Autores: J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante, Universidad de Sevilla

Basado en: J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695

1960-1979						
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales		Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte	
55.04 m ²	Sí	Pobres	F1	B	E5	
n50		19.73 ACH				

LEYENDA		Constante
α	Constante	3.807
TA	Superficie de suelo	0.048
βwb	¿Ventana en el baño?	2.22
	Sí	0
	No	0
βm	Condiciones generales	5.971
	Buenas condiciones	0
	Pobres	-4.611
	Rehabilitado energéticamente	2.711
βtf	Tipo de fachada	0
	F1	-0.399
	F2	-1.805
	E1	0
	E2	0
	E3	0
	E4	-0.988
	E5	0
βws	Severidad en el invierno	2.578
	A	0
	B	2.578
	C	2.699

- Edificio reformado



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language

Año de construcción
n50

Autores: J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante, Universidad de Sevilla

Basado en: J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695

1960-1979						
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales		Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte	
55.04 m ²	Sí	habilitado energéticamente	F1	B	E5	
n50		9.15 ACH				

LEYENDA		Constante
α	Constante	3.807
TA	Superficie de suelo	0.048
βwb	¿Ventana en el baño?	2.22
	Sí	0
	No	0
βm	Condiciones generales	5.971
	Buenas condiciones	0
	Pobres	-4.611
	Rehabilitado energéticamente	2.711
βtf	Tipo de fachada	0
	F1	-0.399
	F2	-1.805
	E1	0
	E2	0
	E3	0
	E4	-0.988
	E5	0
βws	Severidad en el invierno	2.578
	A	0
	B	2.578
	C	2.699

8.1.2 Edificio 2. Periferia a la barriada del Plantinar

- Edificio original



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language **Castellano**

Año de construcción **1960-1979**
n50 **17.30 ACH**

Autores: *J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante. Universidad de Sevilla*

Basado en: *J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695*

1960-1979						
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales	Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición	
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte	
60.87 m ²	SI	Pobres	F2	B	ES	
n50 17.30 ACH						

LEYENDA			Constante
α	Constante		3.607
YA	Superficie de suelo		0.048
βwb	¿Ventana en el baño?		2.22
	No		0
βm	Pobres		5.971
	Buenas condiciones		0
βtf	Rehabilitado energéticamente		-4.611
	Fábrica de ladrillo de un pie o ½ pie		2.711
βte	F2		0
	E1		-0.399
	E2		-1.805
	E3		0
βws	E4		-968
	E5		0
	A		0
	B		2.578
	C		2.699

- Edificio reformado



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language **Castellano**

Año de construcción **1960-1979**
n50 **6.72 ACH**

Autores: *J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante. Universidad de Sevilla*

Basado en: *J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695*

1960-1979					
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales	Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte
60.87 m ²	SI	habilitado energético	F2	B	ES
n50 6.72 ACH					

LEYENDA			Constante
α	Constante		3.607
YA	Superficie de suelo		0.048
βwb	¿Ventana en el baño?		2.22
	No		0
βm	Pobres		5.971
	Buenas condiciones		0
βtf	Rehabilitado energéticamente		-4.611
	F2		2.711
βte	F1		0
	E1		-0.399
	E2		-1.805
	E3		0
βws	E4		-968
	E5		0
	A		0
	B		2.578
	C		2.699

8.1.3 Edificio 3. Barriada del Duque

- Edificio original



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language **Castellano**

Año de construcción **1960-1979**
n50 **21.38 ACH**

Autores: **J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante. Universidad de Sevilla**

Basado en: **J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695**

1960-1979					
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales	Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte
145.92 m ²	Sí	Pobres	F2	B	E5
n50 21.38 ACH					

LEYENDA		Constante
α	Constante	3.607
YA	Superficie de suelo	0.048
βwb	¿Ventana en el baño?	2.22
	Sí	0
	No	5.971
βm	Condiciones generales	0
	Pobres	-4.611
	Buenas condiciones	2.711
	Rehabilitado energéticamente	0
βtf	Tipo de fachada	0
	F1	Fábrica de ladrillo de un pie o ½ pie
	F2	Cerramiento exterior de fábrica de ladrillo de ½ pie (o de un pie) + cámara de aire + tabique de ladrillo hueco
	E1	Edificios adosados alineados linealmente con cuatro viviendas por planta
	E2	Edificios adosados alineados linealmente con dos viviendas por planta
	E3	Edificios de galería abierta
	E4	Edificios aislados de gran altura
	E5	Edificios adosados, alineados linealmente, con dos viviendas por planta y edificio, ubicados en la esquina del conjunto o en edificios aislados con plantas
βte	Exposición	0
	E1	-0.399
	E2	-1.805
	E3	0
	E4	-968
	E5	0
βws	Severidad en el invierno	0
	A	2.578
	B	0
	C	2.699

- Edificio reformado



Estimador de estanqueidad al aire en vivienda plurifamiliar del área Mediterránea v1.01

No aplicable a vivienda unifamiliar ni edificación no residencial

Idioma / Language **Castellano**

Año de construcción **1960-1979**
n50 **10.80 ACH**

Autores: **J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, M.A. Campano, I. Acosta, P. Bustamante. Universidad de Sevilla**

Basado en: **J. Fernández-Agüero, S. Domínguez-Amarillo, J.J. Sendra, R. Suárez (2019). Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region. Sustainable Cities and Society 51, 101695**

1960-1979					
Superficie de suelo	¿Ventana en el baño?	Condiciones generales	Tipo de fachada	Severidad en el invierno	Exposición
AW	βwb	βm	βtf	βws	βte
145.92 m ²	Sí	habilitado energéticamente	F2	B	E5
n50 10.80 ACH					

LEYENDA		Constante
α	Constante	3.607
YA	Superficie de suelo	0.048
βwb	¿Ventana en el baño?	2.22
	Sí	0
	No	5.971
βm	Condiciones generales	0
	Pobres	-4.611
	Buenas condiciones	2.711
	Rehabilitado energéticamente	0
βtf	Tipo de fachada	0
	F1	Fábrica de ladrillo de un pie o ½ pie
	F2	Cerramiento exterior de fábrica de ladrillo de ½ pie (o de un pie) + cámara de aire + tabique de ladrillo hueco
	E1	Edificios adosados alineados linealmente con cuatro viviendas por planta
	E2	Edificios adosados alineados linealmente con dos viviendas por planta
	E3	Edificios de galería abierta
	E4	Edificios aislados de gran altura
	E5	Edificios adosados, alineados linealmente, con dos viviendas por planta y edificio, ubicados en la esquina del conjunto o en edificios aislados con plantas
βte	Exposición	0
	E1	-0.399
	E2	-1.805
	E3	0
	E4	-968
	E5	0
βws	Severidad en el invierno	0
	A	2.578
	B	0
	C	2.699