



**Procedimiento de análisis y evaluación para la
rehabilitación térmica de cerramientos de fachada
en edificios residenciales. Caso de estudio en el
barrio Pinar del Rey, Madrid**

Autor: Elena Cuerda Barcaiztegui

Institución: Universidad Politécnica de Madrid

Otros autores: Javier Neila González

Resumen

La preocupación por el consumo energético, las emisiones de CO₂ y la situación de crisis que tanto afecta al sector de la construcción en nuestro país, ha llevado a las administraciones públicas a promover un nuevo modelo constructivo, la rehabilitación. Sin embargo, la mayoría de las intervenciones se rigen todavía por parámetros estéticos a escala del edificio, mientras que los aspectos de mejora energética aún no tienen la importancia que deberían.

En este aspecto, el comportamiento extremadamente disipativo del edificio, es el componente principal del consumo energético de la edificación. El elemento con mayor repercusión en el ahorro energético es el cerramiento de fachada, en algunos casos el ahorro tras la intervención de rehabilitación, puede superar el 70% del ahorro total posible.

En este contexto, se ha desarrollado esta investigación, que tiene por finalidad servir de instrumento de ayuda para el técnico que debe afrontar la rehabilitación de fachadas de edificios residenciales.

El procedimiento desarrollado, permitirá elegir los criterios para reducir el consumo energético de la edificación durante su vida útil conociendo a la vez el periodo de amortización de la intervención.

Se elabora un procedimiento de análisis y evaluación sistematizada de la fachada existente, siguiendo los siguientes pasos: clasificación y caracterización de los sistemas constructivos de fachada del periodo de estudio seleccionado, análisis térmico de la envolvente vertical, clasificación y evaluación de criterios de mejora y estudio comparativo entre el ahorro energético y el coste de la inversión (cálculo de periodo de amortización). Éste cálculo permite realizar una comparación entre distintas soluciones de mejora para un mismo caso de estudio y por lo tanto conocer, previamente a la intervención, cuál es la actuación de rehabilitación más conveniente.

Posteriormente se aplica esta metodología a un caso de estudio, un edificio residencial en el barrio madrileño de Pinar del Rey.

Palabras claves: rehabilitación térmica, eficiencia energética, procedimiento

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se está produciendo un importante cambio en la normativa relacionada con la eficiencia energética en la edificación. Es importante entender que estos cambios se producen para dar cumplimiento a medidas internacionales como el **Protocolo de Kyoto** ó Directivas aprobadas por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea.

En España se ha construido mucho e indiscriminadamente en las últimas décadasⁱ, sin tener en cuenta la repercusión que tiene esta actividad sobre el medio ambiente.

En la **vivienda media española**, el **consumo energético debido a la climatización** (calefacción y refrigeración), representa un **49% del total**.ⁱⁱ

El comportamiento extremadamente disipativo del edificio es el componente principal del consumo energético de la edificación y el cerramiento de fachada el que mayor repercusión tiene en el ahorro energético, en algunos casos el ahorro tras la intervención de rehabilitación, puede superar el **70% del ahorro total** posible.ⁱⁱⁱ

La **rehabilitación energética** requiere de una inversión económica que se amortiza con el ahorro de energía que se produce con el paso de los años.

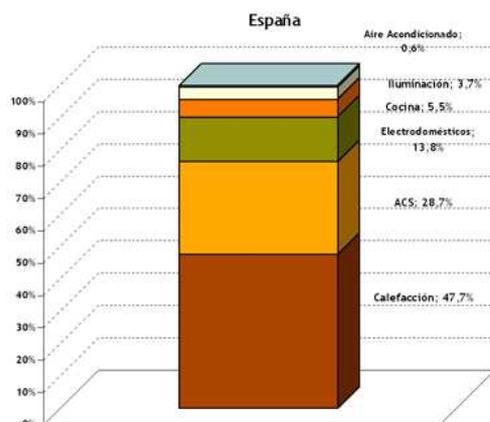


Figura1: Distribución del consumo de Energía de los Hogares en el Sector Residencial en España. Fuente: INE/IDAE/EnR 2009.

Al **elaborar un procedimiento de evaluación sistematizada de la fachada existente**, se **acortan los plazos de toma de datos**. Este método estructurado es extrapolable a otras edificaciones.

La **elaboración de un registro tipificado de medidas de rehabilitación energética**, evaluadas según su ahorro energético y su plazo de amortización, **permitirá verificar la relevancia de estas intervenciones**.

2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN PARA LA REHABILITACIÓN TÉRMICA DE CERRAMIENTOS DE FACHADA EN EDIFICIOS RESIDENCIALES

El procedimiento desarrollado en este artículo consta de los siguientes pasos metodológicos:

- **Selección del periodo de estudio**
 - **Caracterización del edificio y cerramiento de fachada existentes**
 - **Clasificación tipológica de los cerramientos de fachada**
 - **Análisis previo de la fachada de estudio**
 - **Criterios de mejora y catalogación de soluciones**
 - **Evaluación de las mejoras y los costes**
 - **Estudio comparativo de la fachada antes y después de la intervención.**
- Cálculo del periodo de amortización.**

2.1. SELECCIÓN DEL PERIODO DE ESTUDIO

Al desarrollar una metodología de análisis y evaluación de rehabilitación energética de fachadas, resulta fundamental realizar una acotación en el periodo de estudio.

El parque de edificios residenciales existentes en España es tan numeroso que se encuentran infinidad de variantes, ya sean de uso, de tipologías, condiciones climáticas... Esto hace que sea necesario realizar una clasificación y una acotación para poder establecer una metodología que permita facilitar la toma de decisiones a la hora de intervenir en la edificación.

El seleccionar un periodo de estudio, permite en primer lugar, realizar una caracterización de las tipologías de fachada a estudiar. Posteriormente, se determina un sistema de análisis de la envolvente con el que evaluamos su comportamiento, y finalmente se concluye con unos criterios de rehabilitación energética adecuados para las tipologías constructivas desarrolladas en ese periodo en concreto.

La clasificación se realiza teniendo en cuenta la etapa constructiva. El periodo de construcción y el lugar de estudio, determinan las exigencias que se establecen en cuanto a la eficiencia energética y por lo tanto también la definición de su envolvente, que es el elemento que se estudia.

La etapa constructiva se selecciona en base a 3 factores fundamentales:

- **Hitos en la normativa técnica**, que determinen las exigencias que debe cumplir la edificación en el momento en el que este reglamento entra en vigor y por lo tanto que influyen en la definición y configuración de la envolvente edificatoria.
- **Datos estadísticos sobre viviendas**. Consulta a una Administración Pública, en el caso de España el Instituto Nacional de Estadística. Con estos datos se puede determinar la relevancia que tiene nuestra selección, al conocer el número de viviendas construidas en el periodo de estudio seleccionado y el estado en el que se encuentran.
- **Datos históricos relevantes**. Cambios políticos o sociales que puedan influir en el parque de viviendas.

2.2. CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO Y CERRAMIENTO DE FACHADA EXISTENTES.

Al elaborar unos criterios de rehabilitación energética, es necesario tener un conocimiento previo de los edificios existentes y de la manera en la que fueron construidos. Es imprescindible por lo tanto, conocer la evolución de los sistemas constructivos de fachada utilizados en nuestro país en el periodo seleccionado, elaborar una clasificación de edificios y otra de cerramientos, y así poder abordar de manera sistematizada los problemas derivados de cada tipo de edificio que nos permita desarrollar unos criterios de mejora.

2.2.1. Búsqueda documental

La realización de una clasificación tipológica requiere de un estudio previo sobre la documentación existente en relación a este tema. Se puede clasificar en tres apartados:

- **Búsqueda de documentación científica y académica.** Realizar una investigación sobre qué estudios académicos y artículos científicos se han escrito sobre clasificaciones tipológicas relacionadas con la edificación.

- **Búsqueda de documentación en Administraciones Públicas.**

En el caso de España se puede recurrir a la Dirección General del Catastro que nos facilita a través de su web una ficha resumen con datos como el año de construcción o el uso principal y documentación gráfica de la parcela.

En España en cada localidad, se debe acceder a los Archivos Municipales donde se pueda obtener documentación gráfica o memorias técnicas de proyectos, que permitan tener un mayor conocimiento de edificios construidos en la época de estudio seleccionada.

- **Búsqueda de documentación en Empresa Privadas.**

El contacto con promotoras, constructoras y estudios de arquitectura que realizaron numerosas promociones inmobiliarias en la época seleccionada de estudio, puede ser de gran utilidad ya que son ellos los que realmente poseen la documentación original del proyecto redactado.

2.3. CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA.

La clasificación de edificios y cerramientos existentes requieren de una previa caracterización en la que se definan los parámetros más influyentes en el comportamiento higratérmico de la envolvente.

2.3.1. Características principales y codificación de los cerramientos de fachada.

Las características principales que influyen en el comportamiento térmico del edificio se dividen en 3 apartados: **grado de exposición de la fachada al exterior**, **características referentes a la composición del cerramiento opaco de fachada** y **características referentes a la composición del cerramiento traslúcido de fachada** (huecos).

Las características se encuentran divididas en **categorías**, éstas dan una información completa sobre el cerramiento en el que se va a intervenir y a cada una de ellas se le asigna un **código** para facilitar la posterior **clasificación de los cerramientos**.

La **codificación** se articula de la siguiente manera: con las dos primeras letras, se identifica el elemento, en este caso “fachada existente” (FE). Los siguientes dígitos se agrupan y nos indican las diferentes características del cerramiento de fachada y las categorías en las que éstas están subdivididas.

Esta codificación, que se utiliza posteriormente para realizar la **clasificación** de mejoras de la envolvente vertical, **tiene por finalidad el poder hacer corresponder a una tipología de fachada concreta un tipo de mejora específica mediante un código sencillo y fácil de interpretar**.

Este procedimiento de catalogación, ha tomado como base el Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación desarrollado por el Instituto Valenciano de la Edificación.

iv

A continuación en la tabla, se explica cada una de las variables con su correspondiente código.

Apartados	Características principales	Categorías	Codificación
Grado de exposición de la fachada al exterior	Según su relación con los edificios colindantes en edificio	entre medianeras	[EM]
		en esquina	[EQ]
		edificio exento	[EX]
	Porcentaje de huecos en fachada ^v	10-15%	[H1]
		15-20%	[H2]
		20-25%	[H3]
Composición del cerramiento opaco de fachada	Número de hojas que componen la fachada	1 hoja	[1H]
		2 hojas	[2H]
		Multicapa	[+H]
	Tipo de soporte principal de fachada*	Hoja principal de ladrillo hueco de un pie	[A1]
		Hoja principal de ladrillo hueco de ½ pie	[A2]
		Hoja principal de ladrillo perforado de un pie	[B1]

		Hoja principal de perforado hueco de ½ pié	[B2]
		Hoja principal de ladrillo macizo de un pié	[C1]
		Hoja principal de ladrillo macizo de ½ pié	[C2]
	Existencia de cámara de aire (El espesor de la cámara (n) se añade al código, mediante un número que indique el espesor de ésta en centímetros)	Con cámara	[CCn]
	Sin cámara	[SC]	
Existencia de aislamiento térmico (El espesor del aislamiento térmico (n) se añade al código, mediante un número que indique el espesor de ésta en centímetros)	Sin aislamiento térmico	[SA]	
	Aislamiento térmico por el exterior	[AEn]	
	Aislamiento térmico por el interior	[Aln]	
	Aislamiento térmico en inyección en cámaras	[ACn]	
Composición de los huecos de fachada	Tipo de acristalamiento y espesor*	Vidrio sencillo. 4mm o 6mm	[VS]
		Vidrio doble. 4+6+4	[VD1]
		Vidrio doble. 4+9+4	[VD2]
		Vidrio doble. 4+12+4	[VD3]
	Tipo de carpintería y espesor*	Carpintería de madera	[MA]
		Carpintería de aluminio	[AL]

* Hace referencia a tipos de cerramiento estudiados para un lugar y un periodo de estudio en concreto, en este caso la ciudad de Madrid en el periodo comprendido entre los años 1957-1979.

Tabla 1: Características principales que influyen en el comportamiento térmico de la envolvente y su codificación. Elaboración propia.

Ejemplo de codificación de cerramiento opaco y traslúcido de fachada:

FE/ 2H B1 CC5 AI3 VS AL

Fachada existente de doble hoja con soporte resistente de fachada de 1 pié de ladrillo perforado, con aislamiento térmico interior de 3cm y cámara de aire de 5 cm y sin revestimiento exterior. Huecos formados de carpintería de aluminio y vidrio sencillo.

2.4. ANÁLISIS PREVIO DE LA FACHADA DE ESTUDIO

Para realizar un análisis previo visual, se desarrollan dos fichas; una del edificio y otra del cerramiento.

2.4.1. Ficha del edificio

La ficha del edificio se divide en 4 apartados, que van desde lo más general a lo más particular.

El primero es una toma de datos general del edificio, donde es necesario conocer: la región y zona climática, años de construcción, número de plantas y número de viviendas.

El segundo corresponde a la configuración del edificio dentro de la parcela, ya sea como bloque abierto, manzana cerrada, pareado o adosado.

El tercer apartado selecciona el grado de exposición de la fachada al exterior en función de su ubicación respecto a los edificios colindantes. Se añade también la existencia o no de patios.

El último apartado, es una toma de datos sobre la repercusión de la superficie de huecos en fachada.

Se realiza un esquema gráfico del edificio en alzado para estudiar el porcentaje hueco y lleno.

FICHA EDIFICIO EXISTENTE

Marcar con una X lo que corresponda

0. INFORMACIÓN GENERAL

Región. Zona climática:

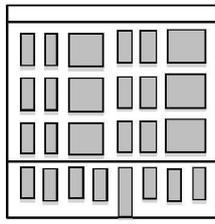
Breve descripción:

Año de construcción:

Número de plantas: *

Número de viviendas:

Esquema gráfico del edificio



1. CONFIGURACIÓN DEL EDIFICIO:

Edificación en bloque abierto

Edificación en manzana cerrada

Edificación pareada

Edificación adosada o en hilera

2. GRADO DE EXPOSICIÓN DE LA FACHADA AL EXTERIOR:

Entre medianeras *

En esquina *

Exento *

Existencia de patios

3. % HUECOS EN FACHADAS

ORIENTACIÓN	superficie total m ²	superficie huecos m ²	% huecos
norte			
noroeste			
oeste			
suroeste			
sur			
sureste			
este			
noreste			
		% huecos total	*

* Información para catalogación

Ref. catálogo: XXXXX

Figura 2: Ficha del edificio existente. Elaboración propia.

2.4.2. Ficha del cerramiento de fachada

La ficha del cerramiento se divide en **4 apartados**:

El primero es una toma de **datos general del cerramiento**, en el que es necesario incluir la orientación de la fachada de estudio y un esquema de ubicación dentro de la planta del edificio.

A continuación hay tres apartados, correspondientes a las partes en las que se divide la fachada: **zócalo, cuerpo central y coronación**. En cada uno de ellos, encontramos una toma de datos de los elementos de los que está compuesta cada parte.

El zócalo se caracteriza por una zona de paño ciego y el hueco de paso.

El cuerpo central se caracteriza por un paño ciego, los huecos de ventanas, los balcones o terrazas y los miradores.

La coronación se caracteriza por el alero y la cornisa.

FICHA CERRAMIENTO DE FACHADA Y HUECOS

Esquema en planta, ubicación de fachada

0. INFORMACIÓN GENERAL
Orientación de la fachada de estudio

1. ZÓCALO
Paño ciego
Identificación de materiales que lo forman.

ext	Tipo de material	Espesor (cm)
1	1/2 pié de ladrillo perforado	
2	Enfoscado ligero de yeso	
3	Cámara de aire	
4	Tabique de ladrillo hueco sencillo	
5	Enlucido de yeso	

*tabla paño ciego

Hueco de paso
Dimensiones:
Materiales:
Carpintería y seguridad:

2. CUERPO CENTRAL
Paño ciego
Identificación de materiales que lo forman.
*tabla paño ciego

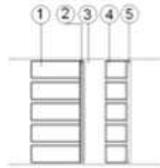
Hueco de ventana
Dimensiones:
Materiales:
Carpintería y seguridad:

Balcón o terraza
Descripción:
Dimensiones (hueco):
Materiales (hueco):
Carpintería y seguridad(hueco):

Mirador
Descripción:
Dimensiones (hueco):
Materiales (hueco):
Carpintería y seguridad(hueco):

3. CORONACIÓN
Alero:
Descripción:
Cornisa:
Descripción:

Esquema sección de paño ciego



Ref. catálogo: XXXXXX

Figura 3: Ficha de cerramiento de fachada. Elaboración propia.

2.4.3. Análisis térmico del edificio existente

El estudio térmico del cerramiento existente, se realiza analizando los siguientes parámetros:

- **Cálculo de transmitancia térmica.** Es necesario que éste cálculo se realice tanto en el paño ciego como en el hueco. Se realiza tanto una medición “in situ”, con un instrumento de medición de transmitancia térmica, como el cálculo analítico.
- **Riesgo de puentes térmicos y de condensaciones.** Un primer cálculo analítico nos permite conocer el riesgo de que se produzcan este tipo de lesiones en la fachada. Mediante un reconocimiento visual, se recogen la existencia o no de estas lesiones patológicas. La medición “in situ” mediante un estudio termográfico y con higrómetro nos verifica el estudio visual.
- **Determinación de infiltraciones.** Se realiza una medición “in situ” mediante un estudio termográfico y con el sistema “Blower Door”.

- **Facturas de consumo energético y perfil de uso.** Se recogen las facturas del consumo energético de las viviendas de los edificios, para hacer un estudio en profundidad del uso que se hace del edificio. Se anota el perfil de uso de cada vivienda para conocer las necesidades de los vecinos y así se podrán evaluar los niveles de confort y dirigir aún más la actuación de rehabilitación en ese sentido. La involucración de los usuarios finales en este proceso, es fundamental para conseguir un óptimo resultado, ya que son ellos los que lo valorarán y disfrutarán.

2.5. CRITERIOS DE MEJORA Y CATALOGACIÓN DE SOLUCIONES

Es necesario realizar un **estudio climático y microclimático** inicial, para determinar los criterios de mejora. Estos dan lugar a un catálogo de soluciones y estrategias para aplicar en ese lugar concreto.

Las **soluciones y estrategias** se dividen en dos tipos:

- Intervención en el paño ciego de fachada
- Intervención en el hueco

A continuación se ha elaborado una tabla con distintas estrategias de intervención para los cerramientos de fachada.

Intervención	Estrategia	Tipo de solución	Codificación
Intervención en el paño ciego de fachada	Aislamiento térmico (El espesor del aislamiento se añade al código, mediante un número que indique el espesor de ésta en centímetros)	por el exterior	[AT/e]
		por el interior	[AT/i]
		inyectado en la cámara	[AT/c]
	Acumulación de energía (El espesor del material se añade al código y la posición dentro del cerramiento, interior(i) o exterior(e))	incorporación de masa térmica	[AE/Mt]
		incorporación de materiales de cambio de fase	[AE/Cf]
	Control de sobrecalentamiento	Color	[CS/Co]
Sombreamiento		[CS/Sb]	

		Fachada ventilada	[CS/Fv]
		Recubrimiento vegetal	[CS/Rv]
	Eliminación de sobrecalentamiento	Recalentamiento de fachada	[ES/Rf]
		Chimenea solar	[ES/Cs]
Intervención en el hueco	Sellado de juntas		[SJ/]
	Sustitución de vidrios		[SV/]
	Sustitución de vidrios y carpinterías		[SVC]
	Instalación de segunda ventana		[VD]
	Sombreamiento de huecos	Interior	[SH/In]
		Exterior	[SH/Ex]
		En medio	[SH/Me]
	Cambios de orientación		[CO/]
Incorporación de invernadero o muro trombe		[IV]	
Favorecer ventilación natural		[VN]	

Tabla 2: Soluciones y estrategias de mejora de la envolvente. Elaboración propia.

2.5.1. Codificación de estrategias

Con las dos primeras letras se identifica la intervención que se está realizando, en este caso una mejora, "mejora" (MJ).

Las siguientes siglas, determinan la estrategia concreta que se aplica. Por último, se añade un porcentaje correspondiente al ahorro que produce la incorporación de esta mejora. El cálculo de este ahorro se explica en los siguientes apartados.

Ejemplo:

MJ/ ATe6 CS/Co SVC/VdCRa 24,2%

Mejora en el edificio mediante incorporación de aislamiento térmico por el exterior de 6 centímetros de espesor. Control del sobrecalentamiento mediante color claro de acabado del revestimiento de fachada. Sustitución de vidrios y carpinterías, mediante vidrio doble y carpintería de aluminio con rotura del puente térmico.

2.6. EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS Y LOS COSTES

Una vez escogidas las estrategias aplicables al lugar en el que nos encontramos y caracterizado y analizado el edificio existente, se realizan los cálculos para poder evaluar el plazo de amortización de las posibles intervenciones a realizar.

La evaluación de mejoras y costes se realiza mediante el siguiente procedimiento:

- Primero se calcula la **demanda energética para el edificio existente y para los distintos escenarios de mejoras.**

Este cálculo, se realiza mediante una simulación energética realizada en el software Design Builder, que utiliza el motor de cálculo Energy Plus desarrollado por el Departamento de energía de los Estados Unidos.

- Posteriormente, se evalúa **la inversión de la intervención en cada caso de mejora:** Se elabora una tabla con la definición del producto, el precio unitario, las medidas o unidades utilizadas y el precio total que eso supone.

Definición	Precio unitario	Medidas	PRECIO total
	€	Uds/m ²	€

Tabla 3: Inversión de la Intervención de mejora de la envolvente. Elaboración propia.

- Se calcula el **ahorro energético que supondrían las medidas de mejora adoptadas.** El ahorro energético se calcula en base a la demanda total del edificio existente antes y después de incorporar las mejoras que se proponen.

Se parte del edificio existente como referencia respecto al cual se calculan los ahorros en kWh/m² y en porcentaje.

	DEMANDA TOTAL	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL	
	kWh/m ²	kWh/m ²	%
EDIFICIO EXISTENTE			
MEJORA 1			
MEJORA N			

Tabla 4: Ahorro energético de las medidas adoptadas. Elaboración propia.

- Después se realiza el **cálculo del ahorro económico en función del ahorro energético.**

El ahorro económico en base a la disminución de la demanda energética que producen las distintas mejoras, se evalúa considerando las tarifas energéticas vigentes en el momento de realizar el estudio.

Será necesario multiplicar el ahorro energético que se produciría tras la rehabilitación por la tarifa correspondiente al tipo de energía utilizado.

Definición de mejora	AHORRO TOTAL ANUAL	AHORRO TOTAL ANUAL
	kWh/m ²	€

Tabla 5: Ahorro económico en función del ahorro energético. Elaboración propia.

- Finalmente se calcula el **plazo de amortización de esta inversión**. Este valor viene dado, en función del ahorro económico producido por la reducción de la demanda energética de las mejoras incorporadas y el precio de la inversión de la intervención.

Definición de mejora	COSTE DE LA INVERSIÓN	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL	PERIODO DE AMORTIZACIÓN
	€	%	AÑOS

Tabla 6: Plazo de amortización de la inversión en la intervención. Elaboración propia.

3 CASO DE ESTUDIO EN EL BARRIO PINAR DEL REY, MADRID.

3.1. SELECCIÓN DEL BARRIO Y TIPOLOGÍA DE EDIFICIO PARA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

3.1.1. Selección del barrio.

Entre los años 60 y 70, Madrid es considerada como una ciudad representativa del país, en la que se produce un gran aumento de la población debido al éxodo masivo del campo a la ciudad. Por lo tanto es una época en la que se tiene una gran necesidad construcción de nuevas viviendas.

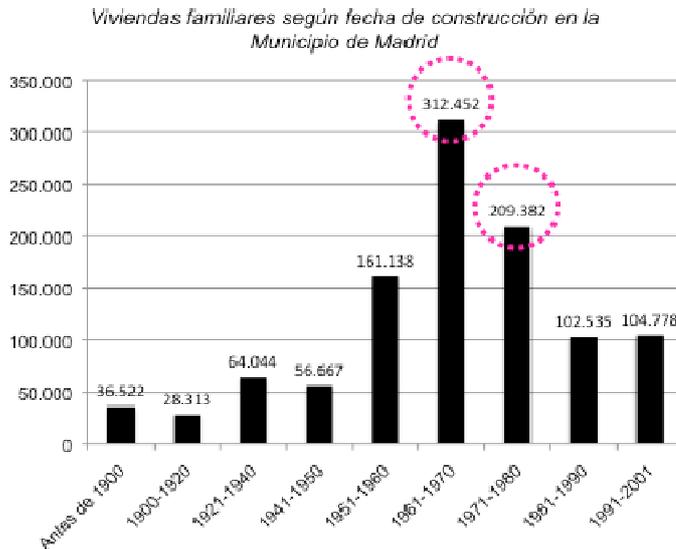


Figura 4. Viviendas familiares según la fecha de construcción en el Municipio de Madrid. Fuente: Datos extraídos de Atlas Digital de las Áreas Urbanas. Comunidad de Madrid. Parque de viviendas 2001. Elaboración propia.

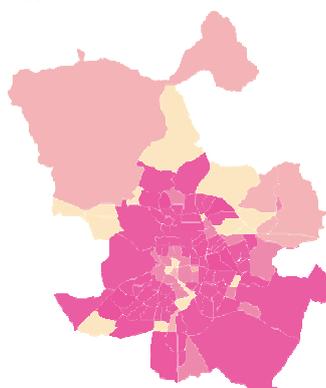
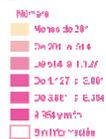
En la ciudad de Madrid, como dice Margarita de Luxán, es fundamental considerar como prioridad de actuación, aquellos barrios en los que los edificios además de la rehabilitación energética, necesiten de una intervención de otro tipo, ya sea de estabilidad, apariencia, patrimonio...

Por estas razones se realiza un **estudio cuantitativo y cualitativo por barrios** teniendo en cuenta:

- Viviendas principales clasificadas por el **año de construcción**.
- Viviendas principales clasificadas por el **estado del edificio**.

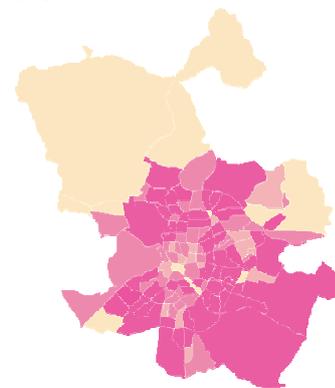
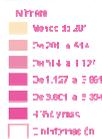
Viviendas principales clasificadas por el año de construcción.

Entre 1961 y 1970.



Fuente: Censo de Vivienda y Urbanismo de 2001

Entre 1971 y 1980.

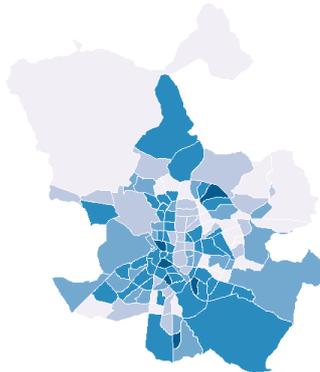


Fuente: Censo de Vivienda y Urbanismo de 2001

Figura 6. Viviendas principales clasificadas por el año de construcción. Fuente: Datos extraídos del Instituto de Estadística. Estudio por barrios. Censo de Población y Vivienda 2001. Elaboración propia.

Viviendas principales clasificadas por el estado del edificio.

Mal Estado



Estado Ruinoso

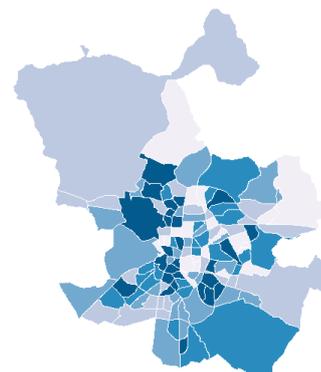


Figura 7. Viviendas principales clasificadas por el estado del edificio. Fuente: Datos extraídos del Instituto de Estadística. Estudio por barrios. Censo de Población y Vivienda 2001. Elaboración propia.

La selección del barrio se realiza escogiendo aquél en el que se han construido mayor número de viviendas y en el que los edificios se encuentran en peor estado. Los valores escogidos para realizar esta selección son; que en el barrio se hayan construido más de 10.000 viviendas en ese periodo y que más de 900 se encuentren en estado ruinoso o malo.

A continuación se indican en una tabla y en una gráfica, los barrios seleccionados según los criterios explicados anteriormente y se elige el barrio de estudio al coincidir los dos métodos de selección.

ESTADO RUINOSO Y MALO > 900		VIVIENDAS PRINCIPALES CONSTRUIDAS ENTRE 1960-1979 >10000	
Embajadores	2744	Embajadores	1944
Universidad	1246	Universidad	1322
Chopera (La)	1279	Chopera (La)	3538
El Pilar	48	El Pilar	18249
Aluche	145	Aluche	24316
Las Águilas	280	Las Águilas	16909
Vista Alegre	172	Vista Alegre	10604
San Diego	1004	San Diego	5333
Palomeras Bajas	1013	Palomeras Bajas	5116
Ventas	173	Ventas	12952
Pueblo Nuevo	221	Pueblo Nuevo	13410
Pinar del Rey	988	Pinar del Rey	15415
San Cristóbal	1109	San Cristóbal	2525

Tabla 7. Resumen de selección de barrios de Madrid y elección del barrio de estudio. Elaboración propia.

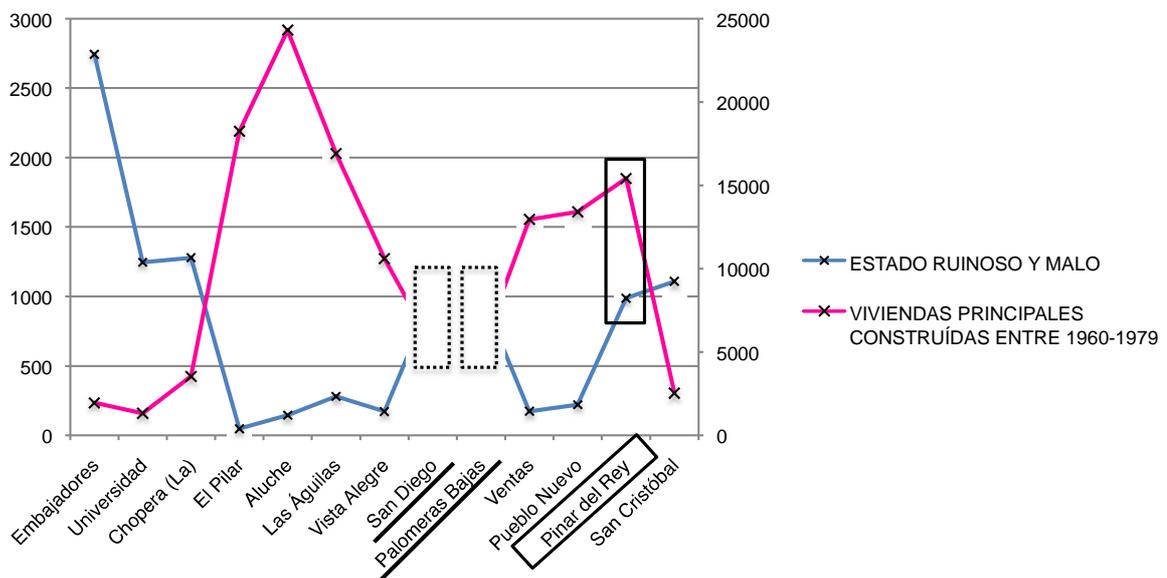


Figura 8. Resumen de selección de barrios de Madrid y elección del barrio de estudio. Elaboración propia. Se selecciona el barrio de **Pinar del Rey**, en el que hay un mayor número de viviendas construidas en el periodo de estudio seleccionado y además hay un gran número de edificios que se encuentran en mal estado.

3.1.2. Selección de tipología de edificio.

La selección de la tipología de edificio se realiza en función **las características** más influyentes en el **comportamiento térmico de la envolvente vertical**.

Se realiza una simulación energética de tres tipologías de edificios, según su relación con los edificios colindantes. Utilizamos las mismas categorías que en el proceso de codificación explicado en el apartado 2.3.1, estas son: **entre medianeras [ME], en esquina [EQ] y exento [EX]**.

Al realizar la simulación se conoce la diferencia entre la demanda energética de cada tipo de edificio. La configuración de los cerramientos de los tres edificios es igual, con un 10% de la fachada acristalada y solamente varía el tipo de adyacencia con los edificios colindantes.

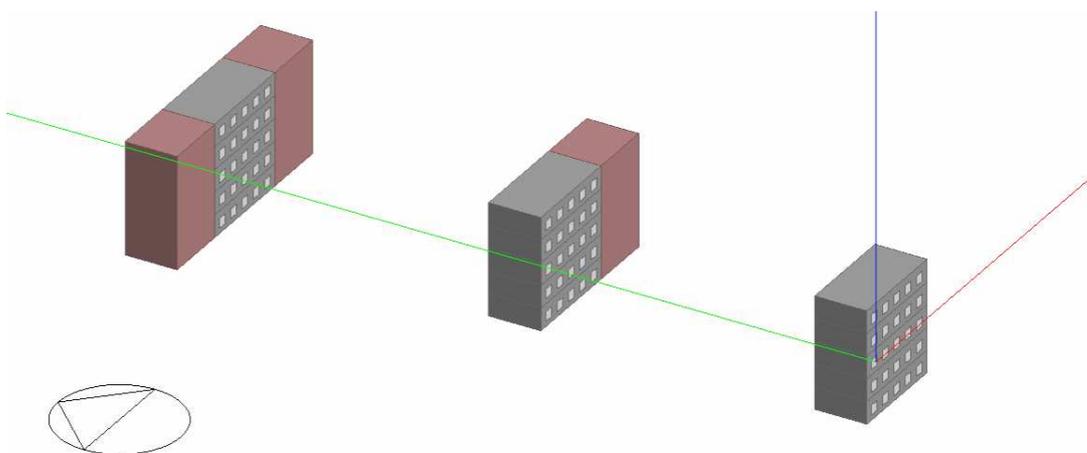


Figura 9. Imagen extraída del Software de Simulación energética Design Builder.

	Demanda de refrigeración	Demanda de calefacción	TOTAL
	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2
EXENTO	30,52	137,83	168,35
ESQUINA	29,56	133,40	162,96
ENTRE MEDIANERAS	28,68	129,95	158,63

Tabla 8. Demanda energética de tres edificios en los que varía su relación con los edificios colindantes. Datos extraídos de la Simulación energética realizada con el Software Design Builder. Elaboración propia.

El edificio de viviendas escogido es **el exento**, al ser aquel que tiene una mayor demanda energética y por tanto, en el que se daría un mayor ahorro al intervenir en su envolvente mediante un proceso de rehabilitación.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO Y CERRAMIENTO EXISTENTE

El edificio residencial escogido como caso de estudio se encuentra en el **barrio de Pinar del Rey**, en el distrito de Hortaleza. Se ubica en la **Calle Guisona número 4**, entre la Calle de la Seo de Urgel y la Calle de Pinar del Rey.

Se cumplimenta la ficha del edificio y la del cerramiento y se clasifican según la nomenclatura establecida en el procedimiento desarrollado.

3.2.1. Ficha del edificio.

FICHA EDIFICIO EXISTENTE Marcar con una X lo que corresponde

0. INFORMACIÓN GENERAL

Región, Zona climática: D3
 Dirección: C/Guisona 4
 Año de construcción: 1966
 Número de plantas: B +4
 Número de viviendas: 10

1. CONFIGURACIÓN DEL EDIFICIO:

Edificación en bloque abierto
 Edificación en manzana cerrada
 Edificación pareada
 Edificación adosada o en hilera

2. GRADO DE EXPOSICIÓN DE LA FACHADA AL EXTERIOR:

Entre medianeras
 En esquina
 Exento
 Existencia de patios

3. % HUECOS EN FACHADAS

ORIENTACIÓN	superficie total	superficie huecos	
	m ²	m ²	% huecos
noreste	435.93m ²	89.2m ²	20.5%
suroeste	370.13m ²	70.47m ²	19%
		% huecos total	19.8%

Esquema gráfico del edificio

* Información para catalogación Ref. catálogo: EE/EX-5H2

Figura 10. Ficha del edificio de la Calle Guisona, 4. Elaboración propia.

CATALOGACIÓN:

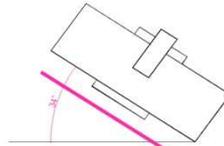
EE/ EX +5 H2

Edificación existente, edificio exento de 5 o más plantas con un porcentaje de huecos entre el 15 y el 20%.

3.2.2. Ficha del cerramiento.

FICHA CERRAMIENTO DE FACHADA Y HUECOS																			
0. INFORMACIÓN GENERAL																			
Orientación de la fachada de estudio	SUROESTE																		
1. ZÓCALO																			
Paño ciego																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ext</th> <th>Tipo de material</th> <th>Espesor (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1 pie de ladrillo perforado</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Enfoscado ligero de yeso</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Cámara de aire</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Tabique de ladrillo hueco sencillo</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Enlucido de yeso</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		ext	Tipo de material	Espesor (cm)	1	1 pie de ladrillo perforado	24	2	Enfoscado ligero de yeso	2	3	Cámara de aire	5	4	Tabique de ladrillo hueco sencillo	5	5	Enlucido de yeso	1
ext	Tipo de material	Espesor (cm)																	
1	1 pie de ladrillo perforado	24																	
2	Enfoscado ligero de yeso	2																	
3	Cámara de aire	5																	
4	Tabique de ladrillo hueco sencillo	5																	
5	Enlucido de yeso	1																	
<p>Notas: Cada forjado está marcado en fachada con una banda de 3 centímetros de espesor y 20 de alto de mortero.</p>																			
Hueco de paso																			
Dimensiones:	1.80m x 2.85m																		
Materiales:	Aluminio lacado																		
Carpintería y seguridad:	Reja de seguridad																		
2. CUERPO CENTRAL																			
Paño ciego																			
*tabla paño ciego																			
Hueco de ventana 1																			
Dimensiones:	1.26m x 1.20m																		
Descripción:	Hueco con vidrio simple de 4 mm con carpintería de aluminio si rotura de puente térmico. Correderas.																		
Carpintería y seguridad:	Rejas metálicas en planta baja																		
Hueco de ventana 2																			
Dimensiones:	1.88m x 1.20m																		
Descripción:	Hueco con vidrio simple de 4 mm con carpintería de aluminio si rotura de puente térmico. Correderas.																		
Carpintería y seguridad:	Rejas metálicas en planta baja																		
Balcón o terraza																			
Dimensiones:	8.20m x 2.90m																		
Dimensiones (hueco):	1.88m x 2.00m																		
Descripción hueco:	Hueco con vidrio simple de 4 mm con carpintería de aluminio si rotura de puente térmico. Correderas.																		
Carpintería y seguridad(hueco):	Barandilla barrotes verticales acero lacado																		
3. CORONACIÓN																			
Alero:																			
Cornisa:																			
Ref. catálogo: FE/ 2H-B1-CC5-SA																			

Esquema en planta ubicación de fachada



Esquema sección de paño ciego

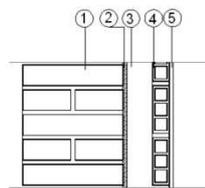


Figura2. Ficha del cerramiento de la Calle Guisona,2. .Elaboración propia.

CATALOGACIÓN:

Parte opaca

FE/ 2H B1 CC5 SA VS AL

Fachada de doble hoja con soporte resistente de fachada de un pie de ladrillo perforado, sin aislamiento térmico y con cámara de aire de 5 cm. Huecos con vidrio simple y carpintería de aluminio.

3.3. ANÁLISIS PREVIO DE LA FACHADA DE ESTUDIO

Después de realizar un estudio sobre el comportamiento térmico de la fachada, se obtienen las siguientes conclusiones.

3.3.1. Cálculo de la Transmitancia Térmica:

El paño ciego de la fachada tiene una **transmitancia térmica** de **1,17 W/m²K**.
Los huecos tienen una **transmitancia térmica** de **5,7 W/m²K** y un factor solar modificado entre 0,38 y 0,39 en función del hueco.
Ninguno de estos valores cumple con los mínimos exigidos por el Código Técnico de la Edificación por lo que las estrategias propuestas persiguen solucionar este problema.

3.3.2. Riesgo de puentes térmicos:

En un primer acercamiento, se analizan las lesiones que podrían ocasionar los puentes térmicos. En este caso se encuentran algunas fisuras en los frentes de forjado de las terrazas, como se observa en la figura 3.



Figura 12. Fotografía de fisura en frente de forjado en terraza.

A continuación se desarrolla una ficha para la toma de datos in situ, en la que se señalan las lesiones que pueden influir en el comportamiento térmico del cerramiento de la fachada que se está evaluando.

FC07C 2H2 SA CCI						
IDENTIFICACIÓN			DIAGNÓSTICO		ACTUACIÓN	
EXISTEN/ NO EXISTEN	UD. CONSTRUCTIVAS AFECTADAS	MATERIALES AFECTADOS	CAUSAS	EVOLUCIÓN	REPARACIÓN	PREVENCIÓN
1. GRIETAS Y FISURAS						
GRIETAS						
		frente del forjado en terraza	enlucido y mortero			
FISURAS						
EXISTEN						
2. DESPRENDIMIENTOS						
DESPRENDIMIENTOS						
3. EROSIONES						
DESTRUCCIÓN						
ALTERACIÓN						

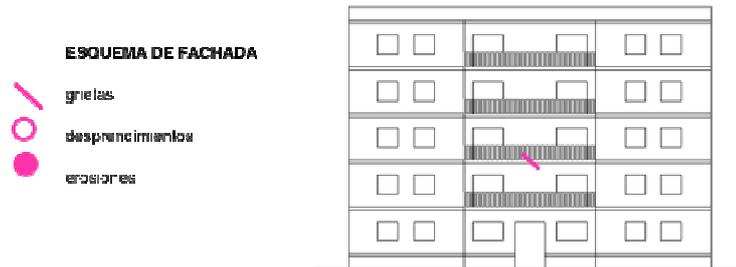


Figura 13. Ficha para el estudio patológico-energético del cerramiento de fachada. Riesgo de puentes térmicos. Elaboración propia.

Una vez identificadas las lesiones, se realizará un seguimiento de su evolución para poder analizar las posibles causas y establecer medidas de prevención y mantenimiento, y así evitar que se originen y desarrollen los procesos patológicos conducentes a la aparición de estas lesiones.

Se realizan una serie de termografías para identificar posibles puentes térmicos. La mejor época del año para realizarlas es en invierno, cuando la calefacción está activada, permitiendo que se produzcan grandes saltos térmicos que no ayudan a mostrar la posible existencia de irregularidades. En este caso se realizan en verano, por lo que no obtendremos unos resultados muy clarificadores.

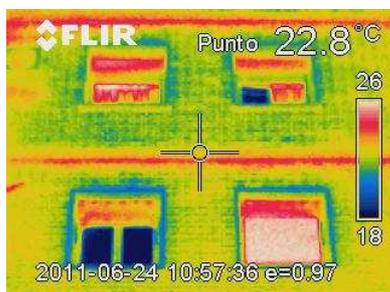


Figura 14 y 15. Termografías de la fachada de estudio del Edificio en la Calle Guisona 4. Elaboración propia. En las termografías podemos observar la diferencia de temperatura entre la fábrica y las llagas, esto nos indica una falta clara de aislamiento ya que si lo hubiese, pero no se tienen indicios de ningún puente térmico.

No obstante, el no cumplir los requerimientos mínimos de transmitancia térmica en el paño ciego y en los huecos, evidencia que la composición constructiva de nuestro cerramiento tiene carencias importantes. Por lo tanto, para asegurarnos, es conveniente realizar un cálculo analítico en función del coeficiente de heterogeneidad del cerramiento, de la posible existencia de un puente térmico en un punto débil de la fachada. Se escoge el cerramiento a la altura de la caja de la persiana. En este punto, se produce un cambio importante en la composición del cerramiento y una notable disminución de la masa térmica. El cálculo realizado confirma la existencia de un puente térmico en este punto.

3.3.3. Riesgo de condensaciones

En un primer acercamiento, se analizan también las lesiones que podrían ocasionar las condensaciones.

Se observa una humedad en una de las terrazas (condensación intersticial), probablemente producida por infiltración de agua en la terraza del piso superior donde puede haber una discontinuidad en el impermeabilizante. Por la distancia a la que nos encontramos, no se observa nada en la termografía y necesitaríamos poder hacer el estudio también desde la terraza del piso superior.

Encontramos formación de moho (condensación superficial) en el frente de forjado de una terraza. Por la distancia a la que nos encontramos, tampoco se aprecia en las termografías.



Figura 16 y 17. Fotografías de humedad en la terraza y formación de moho en el frente del forjado de la terraza. Elaboración propia.

3.4. PROPUESTA DE SOLUCIONES Y MEJORAS

Una vez caracterizado el edificio y el cerramiento de fachada, analizado el comportamiento térmico de la envolvente y realizado el estudio climático y microclimático de la ciudad de Madrid, es posible proponer una serie de medidas de mejora tanto para la parte opaca como para la parte traslúcida de la fachada.

En la propuesta de estas estrategias también se consideran las posibilidades tanto económicas como de disponibilidad de tiempo de la comunidad de vecinos que habita el inmueble. Buscando una solución no intrusiva que evite el desplazamiento de los vecinos durante la consecución de las obras.

1. Incorporación de aislamiento térmico en el cerramiento de fachada.

Se evalúa el ahorro energético que produce la incorporación de aislamiento térmico por el exterior e inyectado en la cámara. En concreto se estudian las siguientes opciones:

- Incorporación de 4cm de poliestireno expandido por el exterior (a partir de ahora, A4 EXT).
- Incorporación de 6cm de poliestireno expandido por el exterior (a partir de ahora, A6 EXT).
- Incorporación de 4cm de espuma de poliuretano proyectado en cámara (a partir de ahora, A4 MED).

2. **Sustitución de vidrios y carpinterías en los huecos.** Se evalúa la sustitución de los huecos por unos nuevos con carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios dobles bajo emisivos (a partir de ahora, CH).

3.5. EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS Y LOS COSTES

3.5.1. Cálculo de la inversión

El cálculo de la inversión se realiza con la base de datos del “Generador de precios de la construcción” desarrollado por CYPE ingenieros. Incluye precios descompuestos y un apartado específico de rehabilitación. El presupuesto se realiza partida a partida, aquí se recoge el resumen del coste de la inversión.

	COSTE DE LA INVERSIÓN
	€
AÑADIR AISLAMIENTO 4cm poliestireno expandido por el exterior	19654,37
AÑADIR AISLAMIENTO 6cm poliestireno expandido por el exterior	24173,87
AÑADIR AISLAMIENTO 4cm espuma de poliuretano proyectado en cámara	7180,18
CAMBIO HUECOS carpintería aluminio con RPT, vidrio doble con bajo emisivo	42705,52
AÑADIR AISLAMIENTO + CAMBIO HUECOS	49885,70

Tabla 9. Cálculo de la inversión en la intervención. Elaboración propia.

3.5.2. Cálculo del ahorro energético

Para calcular el ahorro energético que se produce, es necesario conocer previamente la demanda energética que existe en cada uno de los escenarios de mejora propuestos. Éste cálculo se realiza mediante una simulación energética con el software Design Builder.

Una vez conocida la demanda podemos compararla con la del edificio existente y así calcular el ahorro energético que se produce.

Las hipótesis de partida para la simulación energética son:

- Temperatura de consigna de 18°C invierno y 23°C en verano.
- Cargas internas: 2,1W/m² (vivienda)
- No se considera la demanda de ACS al no influir en el comportamiento térmico de la envolvente.

EDIFICIO EXISTENTE	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	AHORRO ENERGÉTICO EN REFRIGERACIÓN	DEMANDA DE CALEFACCIÓN	AHORRO ENERGÉTICO EN CALEFACCIÓN	DEMANDA TOTAL	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL
	kWh/m ²		kWh/m ²		kWh/m ²	
	30,52		137,83		168,35	
		kWh/m ²		kWh/m ²		kWh/m ²
A4 EXT	28,05	2,47	117,50	20,33	145,55	22,80
A4 MED	29,13	1,39	122,80	15,03	151,93	16,42
A6 EXT	26,76	3,76	110,86	26,97	137,62	30,73
CH	25,45	5,07	135,57	2,26	161,02	7,33
A6 EXT + CH	20,57	9,95	108,51	29,32	129,08	39,27

Tabla 10. Cálculo de la demanda energética y ahorro energético producido por las mejoras. Elaboración propia.

	AHORRO ENERGÉTICO EN REFRIGERACIÓN	AHORRO ENERGÉTICO EN CALEFACCIÓN	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL
	%	%	%
A4 EXT	8,09%	14,75%	13,54%
A4 MED	4,55%	10,90%	9,75%
A6 EXT	12,32%	19,57%	18,25%
CH	16,61%	1,64%	4,35%
A6 EXT + CH	32,60%	21,27%	23,33%

Tabla 11. Cálculo del ahorro energético en porcentaje. Elaboración propia.

La colocación de 4 cm de poliestireno expandido por el exterior, supone un ahorro un **4.7%** mayor que colocarlo proyectado en la cámara, aquí se puede corroborar la influencia que tiene la inercia térmica en el interior del cerramiento.

El aumento de 4 a 6 cm de aislamiento por el exterior produce un **4.35%** más de ahorro.

La intervención de sustituir los huecos y añadir 6 cm de aislamiento supone un **23,33%** de ahorro respecto al edificio existente.

3.5.3. Ahorro económico en base al ahorro energético

	AHORRO EN REFRIGERACIÓN	AHORRO REFRIGERACIÓN ANUAL	AHORRO EN CALEFACCIÓN	AHORRO CALEFACCIÓN ANUAL
	kWh/m ²	€	kWh/m ²	€
A4 EXT	2,47	397,65	20,33	1485,72
A4 MED	1,39	223,78	15,03	1098,39
A6 EXT	3,76	605,33	26,97	1970,97
CH	5,07	816,23	2,26	165,16
A6 EXT + CH	9,95	1601,87	29,32	2142,71

Tabla 12. Cálculo del ahorro económico en base al ahorro energético (calefacción y refrigeración). Elaboración propia.

	AHORRO TOTAL ANUAL	AHORRO TOTAL ANUAL
	kWh/m ²	€
A4 EXT	22,80	1883,37
A4 MED	16,42	1322,17
A6 EXT	30,73	2576,30
CH	7,33	981,39
A6 EXT + CH	39,27	3744,58

Tabla 13. Cálculo del ahorro económico en base al ahorro energético total. Elaboración propia.

3.5.4. Periodo de amortización

Una vez conocido el coste de la inversión y el ahorro energético total que produce cada uno de los escenarios de mejora propuestos, se calcula el periodo de amortización. En estos cálculos no se han incorporado las ayudas actuales que existen de las administraciones, lo que reduciría considerablemente estos periodos de amortización.

	COSTE DE LA INVERSIÓN	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL	PERIODO DE AMORTIZACIÓN
	€	%	AÑOS
A4 EXT	19654,37	12,03%	10
A6 EXT	24173,87	16,86%	9
A4 MED	7180,18	8,54%	5
CH	42705,52	5,30%	44
A6 EXT + CH	49885,70	24,24%	13

Tabla 14. Cálculo del periodo de amortización. Elaboración propia.

3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS

Respecto al **ahorro energético** que se produce, la colocación de **4 cm de poliestireno expandido por el exterior** supone un ahorro un **4.7% mayor** que colocarlo **proyectado en la cámara**, aquí se puede concluir la influencia que tiene la inercia térmica del cerramiento. Al observar el **periodo de amortización** vemos que la incorporación del aislamiento en la cámara conlleva un periodo de amortización reducido, **5 años frente a los 10** del aislamiento por el exterior. La inyección en cámara del aislamiento, es una solución intrusiva al tener que realizarse desde el interior del edificio, lo que podría provocar problemas con los vecinos. Al ejecutarse en un cerramiento ya construido, puede suponer un problema añadido de formación de puentes térmicos o humedades, ya que no se puede comprobar si ha quedado alguna burbuja de aire dentro de la cámara sin rellenar con aislamiento térmico.

El **aumento de 2 cm de aislamiento por el exterior** produce un **4.35% más de ahorro energético**. En estos dos escenarios, podemos comprobar como el **periodo de amortización** al aumentar el aislamiento **se reduce de 10 a 9 años**. La opción de añadir aislamiento por el exterior, se recomienda cuando el estado de la fachada está muy deteriorado y se necesita una nueva imagen o existen lesiones considerables que solucionar. Es una solución ideal para la convivencia de la obra con los vecinos, ya que todo se ejecuta desde el exterior del edificio.

La intervención de sustituir los huecos supone una alta inversión en función del **ahorro energético** que produce (**5.3%**), mientras que **sustituir los huecos y añadir 6 cm de aislamiento** supone un **24,24% de ahorro energético respecto al edificio existente** y un **periodo de amortización** de **13 años**. Por lo tanto, se puede concluir que sólo es recomendable la sustitución de huecos, si además se realiza la incorporación del aislamiento en el cerramiento.

Selección de estrategias y codificación.

Una vez analizados los datos, las estrategias seleccionadas son la **incorporación de 6 cm de aislamiento térmico por el exterior y la sustitución de los huecos, incorporando vidrios bajo emisivos y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico**.

La codificación del cerramiento de fachada y la mejora aplicada se representaría de la siguiente manera:

<u>FE/</u>	<u>2H</u>	<u>B1</u>	<u>CC5</u>	<u>SA</u>	<u>VS</u>	<u>AL</u>	<u>MJ/</u>	<u>AT/e6</u>	<u>SVC</u>	<u>24,24%</u>
------------	-----------	-----------	------------	-----------	-----------	-----------	------------	--------------	------------	---------------

4. CONCLUSIONES

El procedimiento desarrollado en esta investigación, **agrupa en una metodología todos los pasos necesarios para caracterizar y catalogar el edificio existente, analizar su estado actual y evaluar las posibles intervenciones de rehabilitación aplicables. Esta metodología permite conocer las consecuencias energéticas y económicas de la intervención previamente a que se realice. El cálculo del periodo de amortización posibilita la realización de una comparación entre la viabilidad de las distintas soluciones de mejora, para un mismo caso de estudio, y por lo tanto conocer cuál sería la actuación de rehabilitación más conveniente.**

Existen algunas herramientas y estudios, que se acercan a distintos apartados de los que recoge la metodología desarrollada en esta investigación.

El “Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación” desarrollado por el Instituto Valenciano de la Edificación^{vi}, se centra en el desarrollo de propuestas de intervención, sin tener en cuenta el coste económico de la intervención o el ahorro energético que estos producen.

La herramienta del “Pre-estudio de rehabilitación energética de viviendas”^{vii}, desarrolla de un instrumento para evaluar el periodo de amortización de una intervención de rehabilitación, considerando un número de variables de estudio mucho menor que el procedimiento desarrollado en esta investigación.

La **caracterización y codificación del edificio existente y la evaluación de su estado actual**, permite la selección de los criterios más apropiados para **reducir el consumo energético de la edificación durante su vida útil**, conociendo a la vez el **periodo de amortización** de la intervención. Al **elaborar un procedimiento de evaluación sistematizada de la fachada existente, se acortan los plazos de toma de datos**. Además este método estructurado es extrapolable a otras edificaciones.

Este procedimiento además, supone una **ayuda a los técnicos** que se enfrentan a la rehabilitación energética de un edificio, ya que permite saber, con anterioridad a la intervención, **cuáles de las distintas soluciones de mejora son más apropiadas**. Conocer el **ahorro económico, energético, y el plazo de amortización** posibilita que el técnico tenga una **información que pueda trasladar al propietario**, ya que es éste último el que tomará la decisión final de qué tipo de obra desea llevar a cabo en su edificio.

La **aplicación del procedimiento de análisis y evaluación a un caso real**, ha permitido demostrar que **los pasos definidos permiten una toma de decisiones rápida y acertada**. Es una **metodología adecuada para poder seleccionar las estrategias de rehabilitación más apropiadas** previamente a intervenir en el edificio existente.

ⁱ Rodríguez Alonso, Raquel (2002). La política de vivienda en España desde la perspectiva de otros modelos europeos. Ciudades para un futuro más sostenible. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n29/arro2.html#6> [15 de Octubre de 2012].

ⁱⁱ Distribución del consumo de Energía de los Hogares en el Sector Residencial. Fuente: INE/IDAE/EnR 2009

ⁱⁱⁱ De Luxán, M. et al.(2010): Metodología de Evaluación para el Programa de Ayudas a las Actuaciones de Rehabilitación para la Mejora de la Sostenibilidad y Eficiencia Energética de las Edificaciones. SB10mad, sustainable building conference. Madrid, España, Disponible en: <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/c/C014.pdf> [5 de Mayo de 2011].

^{iv} Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación. Instituto Valenciano de la Edificación Disponible en: <http://www.five.es/publicaciones/CatRehabilitacionParte1/index.html> [17 de Octubre de 2011].

^v De Luxán, M; Vázquez, M; Gómez, G; Román, E; Barbero, M. “Estudio para la elaboración del Plan RENOVE de acristalamientos en viviendas de la Comunidad de Madrid” Disponible en: <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/c/C013.pdf> [7 de Junio de 2011].

^{vi} Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación. Instituto Valenciano de la Edificación. Disponible en: <http://www.five.es/publicaciones/CatRehabilitacionParte1/index.html> [17 de Octubre de 2011].

^{vii} Solé, J. “ Pre-estudio de rehabilitación energética de viviendas”. ANDIMAT. Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/rehabilitacion> [15 de Junio de 2012].