



**Universidad
Zaragoza**

Proyecto Fin de Carrera

Análisis térmico y estudio de mejoras en
edificio construido en los años 70 en la ciudad
de Zaragoza

Autor

Juan Carlos Andrés Otal

Director

Ignacio Zabalza Bribian

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2016



Resumen.

La presente memoria contiene el estudio de recopilación sistemática de las características constructivas y térmicas de la envolvente de un edificio ejecutado en los años 70 en la ciudad de Zaragoza. Además, contiene el estudio de cuatro soluciones técnicas utilizadas actualmente para la rehabilitación energética de edificios, encaminadas a la mejora de la envolvente térmica.

Con esta información, se han creado **diferentes modelos** virtuales mediante el software DesignBuilder, tanto del edificio sin rehabilitar, como de éste con cada una de las soluciones, de forma aislada y combinada entre ellas.

El principal objetivo del proyecto, ha sido conocer cual es el consumo y demanda de calefacción, tanto del modelo sin rehabilitar, como el de los diferentes modelos rehabilitados. Para ello, se han realizado simulaciones mediante el motor de cálculo Energy/plus que contiene el software. Cabe resaltar, el estudio realizado de los espesores óptimos de los aislantes a utilizar para las diferentes reformas.

Los resultados obtenidos de estas simulaciones, han sido tratados mediante hoja de cálculo, para obtener una valoración económica mediante análisis del Valor Actual Neto (VAN) de las diferentes soluciones aplicadas, así como ahorros en el consumo y demanda de calefacción a nivel de edificio y plantas, confort térmico a nivel de viviendas, y emisiones de CO₂ a nivel de edificio. Estos resultados previamente tratados, aparecen expuestos en el apartado "Análisis de resultados" de la presente memoria. Además, se ha realizado un breve estudio comparativo de la energía ahorrada por el edificio con respecto a la energía necesaria para el transporte de las personas que viven en él.

Para finalizar, la principal conclusión que se obtiene del proyecto es que se pueden alcanzar ahorros importantes de energía final, primaria, y emisiones con la puesta en marcha de mejoras que rehabiliten los edificios en términos de eficiencia energética y que en nuestro caso podrían llegar a ser del 50%.

Índice temático.

I Resumen.

1.	Introducción.....	Pág. 01
1.1	Preámbulo.....	Pág. 01
1.2	Justificación.....	Pág. 02
1.3	Objetivos del proyecto.....	Pág. 03
1.4	Metodología de trabajo.....	Pág. 04
1.5	Estructura de la memoria y anexos.....	Pág. 04
2	Características del edificio.....	Pág. 06
2.1	Situación del edificio.....	Pág. 06
2.2	Orientación.....	Pág. 07
2.3	Descripción vertical.....	Pág. 07
2.4	Envolvente térmica.....	Pág. 09
2.4.1	Muros en contacto con el aire exterior.....	Pág. 09
2.4.2	Medianeras.....	Pág.11
2.4.3	Muros en contacto con espacio y no habitable.....	Pág.11
2.4.4	Muros en contacto con el terreno.....	Pág.12
2.4.5	Suelos en contacto con espacio habitable y no habitable.....	Pág.12
2.4.6	Suelo en contacto con el terreno.....	Pág.13
2.4.7	Cubierta en contacto con el aire.....	Pág.13
2.4.8	Huecos. Vidrios y Marcos.....	Pág.13
2.4.9	Instalación de calefacción.....	Pág.15
3	Características térmicas del edificio.....	Pág.16
3.1	Introducción.....	Pág.16
3.2	Lista de materiales del proyecto.....	Pág.16
3.3	Cuadro resumen de transmitancias sin rehabilitar.....	Pág.17
4	El modelo del edificio.....	Pág.18
5	Propuestas de mejora.....	Pág.19
5.1	Introducción.....	Pág.19
5.2	Solución 1. Mejora en fachada mediante SATE.....	Pág.20
5.3	Solución 2. Mejora de la fachada exterior mediante relleno de la cámara de aire.....	Pág.21
5.4	Solución 3. Aislamiento de la cubierta.....	Pág.22
5.5	Solución 4. Mejora de huecos. Vidrios y marcos.....	Pág.23
5.6	Resumen de transmitancias reformadas.....	Pág.25
6	Análisis de los resultados.....	Pág.26
6.1	Análisis económico de la inversiones.....	Pág.26
6.2	Análisis térmico de las reformas.....	Pág.28
6.3	Análisis medioambiental de las reformas.....	Pág.35
7	Análisis comparativo con el transporte.....	Pág.36
8	Conclusiones.....	Pág.37

Listado de Anexos.

Listado de figuras.

Listado de tablas.

Referencias bibliográficas.

1. Introducción.

1.1 Preámbulo.

En 1712, Coneygree Coal Works, era el mayor yacimiento de carbón de Inglaterra. Thomas Newcomen y su máquina que transformaba el calor procedente de la combustión del carbón en energía mecánica, intentaba bombear agua de un pozo de mina que se encontraba inundado.

"El carbón y la fuerza que suministraba transformaron el comercio y la sociedad occidentales al aumentar la productividad y la riqueza y acelerar el gran paso de la agricultura a la industria" [1]

Se estaba asistiendo al primer gran cambio energético mundial, la lenta, pero inexorable sustitución de la MADERA por este nuevo combustible. En 1901 comenzó el fin de la era del CARBÓN con la aparición de un nuevo combustible, el petróleo. Comenzaba un nuevo cambio energético y con el sería el segundo.

Se sigue consumiendo estos tres combustibles, dos de ellos fósiles como el CARBÓN y el PRETRÓLEO para producir ENERGÍA ELÉCTRICA, CALENTAR NUESTRAS VIVIENDAS, y MOVER TODO LO NECESARIO PARA LA SUPERVIVENCIA DE NUESTRA SOCIEDAD, CON EL TRANSPORTE TANTO DE PERSONAS COMO DE COSAS.

A pesar de las advertencias de la comunidad científica del riesgo de seguir quemando combustible fósiles, no solo no los hemos reducido, sino que se aumenta su quema contribuyendo con el efecto invernadero.

"Uno de los sucesos clave que trasladaron el debate del efecto invernadero al nivel político fue la conferencia celebrada en Toronto a finales de mayo de 1988 titulada " La atmósfera cambiante" en la que participaron científicos y políticos de cuarenta y ocho países" [2]

En ese mismo año se crea el **Panel Intergubernamental para el cambio climático [3]** que hoy sigue emitiendo informes. Vendrían la cumbre de la Tierra en Río de Janeiro y el protocolo de Kioto en 1997. Como parece son muchos los riesgos, pero se sigue dependiendo de la ENERGÍA, que papel juega el término EFICIENCIA ENERGÉTICA y por tanto el AHORRO de ésta.

Centrándonos en el tema de las viviendas, son muchos los esfuerzos por diseñar éstas, cada día más eficientes energéticamente.

En cuanto a la normativa que ha ido apareciendo están, desde el año 1957, las **normas MV[4],[5]** del Ministerio de Vivienda, que tuvieron su fin con la implantación de **Normas Básicas de la Edificación (NBE)** a las que se añadieron las **Normas Técnicas de la Edificación (NTE)**. El **Código Técnico de la Edificación (CTE)** actualmente en vigor con su documento básico de ahorro de energía, (*Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.*)[6] en la que se establecen entre otros aspectos, límites en la demanda energética de calefacción y refrigeración.

Aunque todo esto, está afectando a la construcción de nuevas viviendas, las construidas en España antes de los años 70 se ejecutaron sin un marco legislativo que afectara a la eficiencia energética de éstas. Para acometer este problema, se desarrollaron varias estrategias. Entre la más importantes están, las medidas establecidas por el **Plan Estratégico E4[7]** para la edificación, como la rehabilitación de la envolvente térmica con el objetivo de reducir la demanda energética de calefacción y refrigeración, así como la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas.

El **plan de ayuda de rehabilitación de edificios**[8] que es un plan estatal (2013-2016) del Ministerio de Fomento para ayudas a la rehabilitación de edificios.

EL Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (**Programa PAREER-CRECE**)[9] con el fin de incentivar y promover la realización de actuaciones de reforma que favorezcan el ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de las energías renovables y la reducción de emisiones de dióxido de carbono, en los edificios existentes.

La **Directiva Europea 2010/31/UE** que entre sus objetivos está, los planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de **energía casi nulo**; en su compromiso de reducir, para el 2020, las emisiones totales de gases de efecto invernadero en un 20 % como mínimo con respecto a los niveles de 1990:

“edificio de consumo de energía casi nulo»: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.” [10]

Para el IDAE(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) existen 3 razones fundamentales por las que se debe AHORRAR ENERGÍA:

- El agotamiento de las energías no renovables.
- Los impactos negativos sobre el medio ambiente.
- La inseguridad en el abastecimiento energético.

Por lo tanto:

Con el presente proyecto, se quiere poner de manifiesto la mejora de los edificios susceptibles de ser rehabilitados en cuanto al ahorro energético, proponiendo para ello, no solo las soluciones técnicas que están al alcance hoy en día, sino los ahorros en la demanda de calefacción que se pueden alcanzar en este tipo de edificaciones, y por consiguiente, en el consumo tanto de energía final, así como primaria.

1.2 Justificación.

La elección del edificio a estudio para este proyecto no ha sido casual. Conflúan dos variables que lo hacían de interés. La primera, era el hecho de ser un edificio ejecutado en los años 70 , sin un marco legislativo claro sobre edificación y eficiencia energética para su construcción. La segunda, era la posibilidad de poder acceder a dos de sus viviendas, lo que iba a facilitar la comprensión de los datos constructivos. El edificio a estudio se encuentra en la c/Pablo Remacha, 11 en Zaragoza capital.

Para conseguir los objetivos planteados en este proyecto “Análisis térmico y estudio de mejoras en edificio construido en los años 70 en la ciudad de Zaragoza” de una forma precisa, es necesario conocer datos de la estructura del edificio a estudio. El principal soporte documental para realizar un proyecto de estas características, debería ser el proyecto realizado para la ejecución de dicho edificio.

Para documentar este estudio, no se ha empleado la totalidad del proyecto *“Proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín” [11]* ya que consta de 4 bloques y locales. Por ello, se hizo un trabajo de seleccionar la información necesaria para realizar el proyecto de los bloques que forman el edificio con portal nº 11 de la c/Pablo Remacha en Zaragoza capital.

A partir del plano 1 (Anexo 4), se determina que el edificio a estudio esta formado por los bloques Z-I 149/68 y ZI 159/68 anexos entre ellos. En el resumen del presupuesto general del proyecto **[11]**, (Anexo 2) se describe el edificio con el número 439 , lo que nos conduce al presupuesto general de dicho edificio (Anexo 3) y sus correspondientes planos (Anexo 4).

Localizada toda esta información, se vuelve a realizar otro filtro para seleccionar del mismo, aquello que afecta fundamentalmente a los diferentes cerramientos que forman la envolvente térmica del edificio que son, muros y huecos exteriores, muros enterrados, muros medianeros, cubierta exterior, suelo sobre el terreno y pilares. Además los suelos y tabiques interiores para el estudio entre plantas y viviendas.

La realidad, es que dicho proyecto **[11]** ,visado el 27 de ENE de 1969 adolece de numerosas contradicciones con respecto a la obra ejecutada , incluso entre diferentes apartados del mismo proyecto. Entre las deficiencias encontradas que han afectado a la elaboración de este estudio están:

- Modificación de la fachada principal.
- Ausencia total de detalles constructivos.
- Ausencia total de planos de instalación.
- Ausencia total de planos de carpinterías.
- Modificación en calidades de carpinterías.
- Contradicciones entre la memoria y el presupuesto.

Esto ha obligado a realizar un trabajo extra para recabar información del edificio ejecutado frente al proyectado que va desde, mediciones in-situ, a elaborar una nueva documentación de aquellos elementos constructivos necesarias para su posterior análisis. Todo ello ha sido documentado en la memoria y Anexos del presente proyecto.

1.3 Objetivos del proyecto.

La pretensión del proyecto es realizar un estudio térmico de un edificio ejecutado en los años 70 en Zaragoza donde apenas existía normativa sobre edificación y eficiencia energética para la construcción de edificios, con el objeto principal de encontrar deficiencias técnicas que afectan a la eficiencia térmica de dicho edificio y presentar diferentes soluciones técnicas.

Para ello se han establecido los siguientes objetivos:

Reunir toda la información sobre el edificio referente a la envolvente térmica del mismo además de realizar mediciones in-situ como espesores de vidrios, medidas de carpinterías, muros, pilares, así como la medida de la transmitancia de la fachada principal mediante el equipo adecuado para ello.

Presentar soluciones técnicas para la mejora de la envolvente térmica.

Introducir toda esta información sobre el edificio en el programa DesignBuilder **[12]** para calcular la transmitancia de cada uno de los elementos constructivos que lo configuran y realizar la simulación térmica con su motor de cálculo Energy/plus **[13]** del consumo y demanda de calefacción del modelo sin rehabilitar y sus diferentes reformas, y presentar y realizar un análisis de los resultados.

Realizar un análisis comparativo de la energía consumida por los habitantes del edificio para su transporte respecto al consumo energético del edificio.

1.4 Metodología de trabajo

Para lograr todos los objetivos del proyecto se ha establecido la siguiente metodología.

Inicialmente, se recopila toda la **información del edificio a estudiar**, para lo cual se ha ido al [Archivo Central \(Edificio Seminario, Vía hispanidad, 20, sótano 1º\)](#), donde se pueden consultar y reproducir los documentos y expedientes del proyecto[11], previa solicitud anticipada. Los proyectos no pueden salir del archivo pero hay servicio de reprografía para realizar las copias que sean necesarias tanto de la memoria como de los planos.

Una parte de la **información** se ha obtenido directamente de la memoria, presupuesto y de los diferentes planos que tenía el proyecto[11]. Además, ha sido necesario recabar información en el propio edificio sobre la instalación de calefacción de éste ya que en el proyecto original no había evidencia alguna de características de la misma ni planos de dicha instalación.

Además se ha consultado la **referencia catastral del edificio**[14]. Ésta se puede realizar de forma electrónica directamente en la página WEB "Sede Electrónica del Catastro" que tiene el Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas.

Dado que el proyecto original tenía importantes carencias ha sido necesario realizar **mediciones in-situ** ya que no se podía obtener de los documentos del proyecto[11]. Entre las más importante está la medida de la transmitancia de la fachada principal, medidas geométricas de puentes térmicos que se forman en los capialzados, espesores de vidrios, espesores de los muros de la envolvente y composición de las capas de éstos, así como materiales de las carpinterías originales.

Para los **cálculos** de las transmitancias de los diferentes cerramientos del edificio se ha utilizado el software DesignBuilder[12]. Los valores de conductividades, calor específico y densidad de los materiales que forman los cerramientos se han obtenido del Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación [15]. Los cálculos de superficies de hueco, fracciones de superficies de los elementos que conforman el hueco(marco, hoja y vidrio), transmitancia de huecos se han realizado mediante hoja de cálculo. Una vez obtenidos estos resultados, ya pueden ser comparados con los valores límite que marca el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (CTE) [6] para la zona climática donde se ubica el edificio, lo que permite plantear diferentes soluciones técnicas para los elementos que no cumplen.

Para la diferentes **mejoras planteadas** de la envolvente térmica, se ha consultado de varias empresas del sector de la construcción y rehabilitación de edificios la información contenida en sus páginas webs sobre soluciones constructivas de rehabilitación, así como diferente bibliografía al respecto. Además de consultar bases de datos de precios específicas para confeccionar proyectos (CYPE)[16], se contacta con las empresas para solicitar información precisa de precios de las diferentes soluciones.

Se realizan modelos 3D del edificio sin rehabilitar y rehabilitado con sus diferentes soluciones para la mejora de la envolvente térmica y de su instalación de calefacción utilizando el software DesignBuilder[12]. Utilizando estos modelos, se realiza un estudio previo de los espesores óptimos de los aislantes aplicados en las distintas reformas, analizando la función ahorro de combustible y VAN en función del espesor del aislante.

Una vez obtenidos los modelos, mediante el motor de cálculo del software, Energy/plus[13] se determina el **consumo y demanda de calefacción** mediante la simulación del comportamiento térmico del edificio a lo largo de un año. Todos los **resultados obtenidos** de la simulación se han tratado con una hoja de cálculo.

Con los datos de precios de las reformas así como de los ahorros obtenidos mediante el modelo simulado, se ha realizado una **valoración económica** de cada una de ellas mediante análisis VAN, para terminar con el análisis de los resultados y sus conclusiones.

1.5 Estructura de la memoria y Anexos.

Dentro de los diferentes apartados de la memoria solo se ha hecho constar la información precisa y relevante para comprender el proyecto en su conjunto, los resultados y conclusiones del mismo.

Toda la documentación original del proyecto[11] se ha hecho constar en:

- **Anexo 1.** Copia de la **memoria del proyecto** para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- **Anexo 2.** Copia del **resumen de presupuesto** del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- **Anexo 3.** Copia del **presupuesto general** del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- **Anexo 4.** Copia de los planos originales del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.

Para la obtención de medidas y superficies del edificio se han utilizado directamente los planos elaborados para tal finalidad y la información de las hojas catastrales. Toda esta información se encuentra en:

- **Anexo 5.** Hojas de datos catastrales.
- **Anexo 6.** Planos.
- **Anexo 7.** Cuadro de superficies.

Toda la información elaborada con el objetivo de conseguir un dato mediante cálculos o mediciones se ha hecho constar en:

- **Anexo 8.** Medición in-situ de la transmitancia de la pared.
- **Anexo 9.** Determinación de superficies y transmitancias de huecos.
- **Anexo 10.** Determinación de los espesores óptimos de aislantes.
- **Anexo 11.** Determinación de los costes de las reformas.
- **Anexo 12.** Determinación de los valores del VAN de las reformas.
- **Anexo 13.** Determinación de la desviación del modelo sin rehabilitar respecto al edificio real.
- **Anexo 14.** Determinación de la demanda y consumo límite.
- **Anexo 15.** Determinación de las transmitancias de muros y forjados.

Toda la información sobre las diferentes reformas constan en:

- **Anexo 16.** Artículo sobre rehabilitación de cubiertas.
- **Anexo 17.** Artículo sobre ETICS.
- **Anexo 18.** Artículo sobre insuflación de aislante en cámaras.
- **Anexo 19.** Catálogo de carpinterías PVC.

Por último, la información de los resultados obtenidos de los diferentes modelos simulados se encuentra en:

- **Anexo 20** Resultados de los modelos.

2. Características del edificio.

2.1 Situación del edificio.

En la figura 1 del solar y Plano nº 1 del proyecto[11] viene expresada la situación general de la totalidad del solar, así como su emplazamiento con relación al resto de su entorno. Tal y como se indica está en la calle de nuevo trazado, llamada calle Nueva, que une las calles Puente Virrey y Maestro Aula.

El bloque completo comprende 8 edificios desde ZI-147/68 hasta el ZI-154/68 con un total de 216 viviendas. Los **bloques, se aparean de dos en dos con un solo portal**, lo que reduce el número de bloques desde el punto de vista de numeración municipal a cuatro portales. Actualmente los portales son 9,11,13,15 pertenecientes a la calle Pablo Remacha.

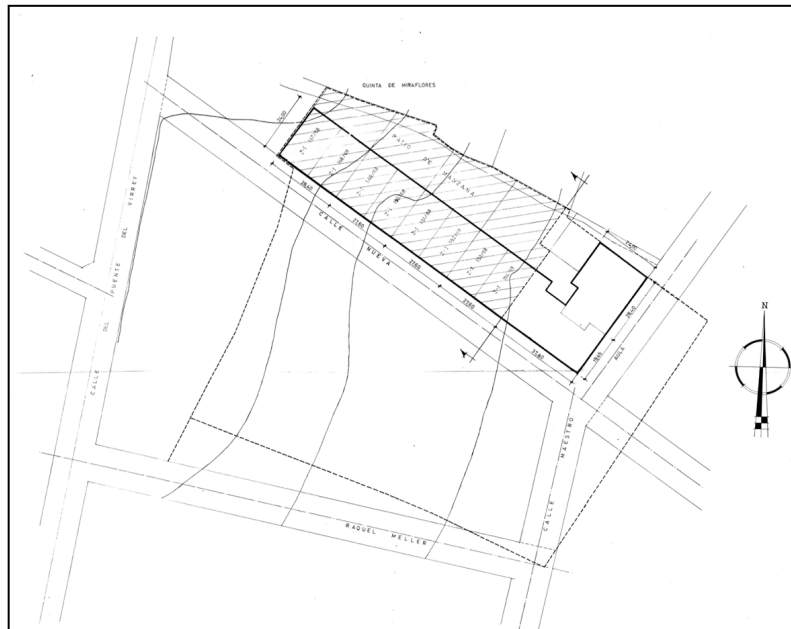


Figura 1: Situación del edificio.

Fuente: Plano nº1 del proyecto del edificio.

El objeto del proyecto se reduce al estudio de los edificios anexos Z-I 149/68 y ZI 159/68 que comparten el portal número 11.

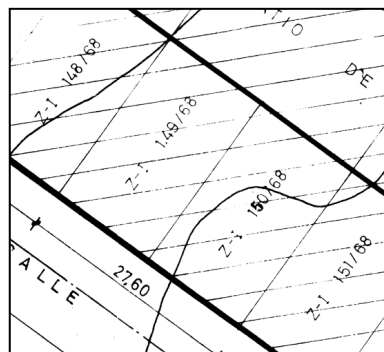


Figura 2: Situación del bloque a estudio.

Fuente: Plano nº1 del proyecto del edificio.

2.2 Orientación.

La fachada principal del edificio esta orientada en un ángulo de 225° tomando la dirección norte como referencia. Según este ángulo **la orientación de edificio es SO (Suroeste)** tal y como se describe en la tabla del Documento básico HE sobre Ahorro de energía. [6]

2.3 Descripción vertical.

El edificio consta de:

- Planta de sótano bajo la rasante.
- Planta baja sobre la rasante.
- Planta 1ª, 2ª, 3ª, 4ª y 5ª (Todas iguales).
- Ático 1º.
- Ático 2º.
- Sobreático.

Planta de sótano bajo la rasante.

La planta sótano consta de dos partes bien diferenciadas. Una parte dedicada a los trasteros de cada una de las viviendas de áticos. La zona central, se guarda para servicio de la finca y ascensor. La zona hacia la fachada principal, se destina a mejoramiento de la superficie de los futuros locales comerciales.

Planta baja sobre la rasante.

Distribuido en cruz para abastecer a los dos edificios (Esc. Dcha. y Esc. Izda.), situación de vigilancia de la portería, y la situación de los cuartos de basura y de contenedores.

Plantas 1ª, 2ª, 3ª, 4ª y 5ª.

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Dcha.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas C y D** situadas en fachada principal (suroeste) y **dos viviendas A y B simétricas a C y D** situadas en fachada posterior (noreste).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Izda.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas C y D** situadas en fachada principal (suroeste) y **dos viviendas A y B simétricas a C y D** situadas en fachada posterior (noreste).

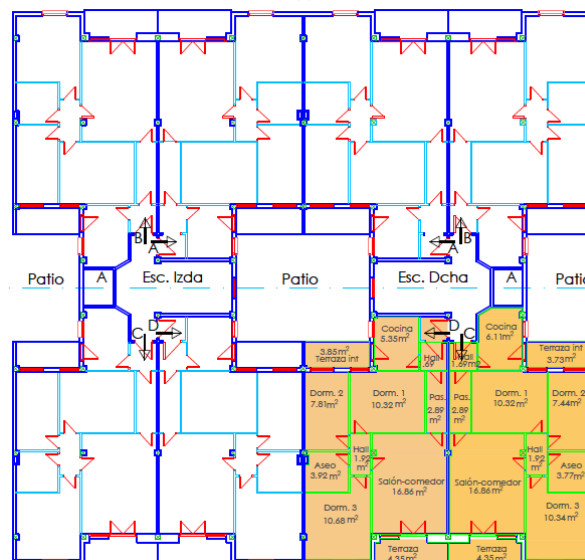


Figura 3: Viviendas de plantas 1ª-5ª.

Viviendas C y D (Plantas 1ª-5ª / Fachada suroeste).

Consta de un pequeño **hall** que da acceso a la **cocina** que tiene un amplio desahogo en la **terrazza del tendedero**. Alrededor del patio de luces se desarrollan dos amplios **dormitorios**. El **salón-comedor** y un **dormitorio** que da a la fachada principal (Fachada suroeste). El salón-comedor tiene una amplia **terrazza** que protege del periodo de mayor calor (canícula). El **aseo** que se ventila mediante un shunt.

Nota. – El resto de viviendas son idénticas en función su posición simétrica respecto a éstas.

Ático 1º. (Planta 6ª).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Dcha.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas C y D** situadas en fachada principal (suroeste) y **dos viviendas A y B idénticas a A y B de plantas 1º-5º** situadas en fachada posterior (noreste).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Izda.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas C y D** situadas en fachada principal (suroeste) y **dos viviendas A y B idénticas a A y B de plantas 1º-5º** situadas en fachada posterior (noreste).

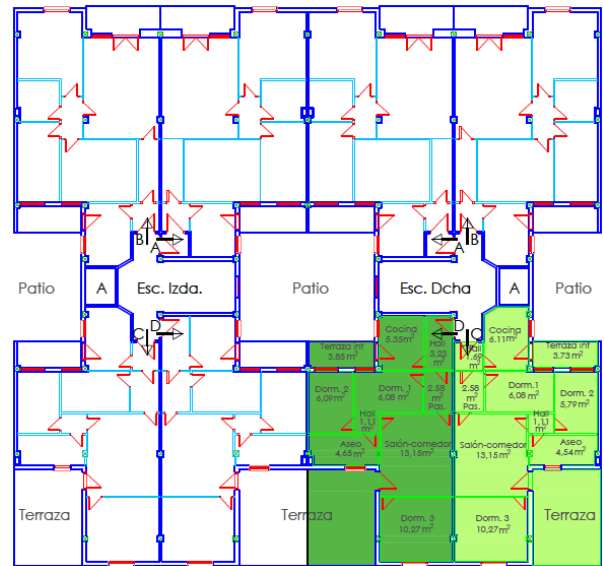


Figura 4: Viviendas de plantas 6ª.

Viviendas C y D (Planta 6ª/ Fachada suroeste).

Consta de un pequeño **hall** que da acceso a la **cocina** que tiene un amplio desahogo en la **terrazza del tendedero** abierta al patio de luces. Alrededor del patio de luces se desarrollan dos amplios **dormitorios**. El **salón-comedor** accede a **terrazza mirador exterior** a través de la fachada que da al exterior. Un **dormitorio** da a la fachada principal. El **aseo** que se ventila mediante un shunt.

Ático 2º. (Planta 7ª).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Dcha.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas A y B idénticas a A y B de plantas 1º-6º** situadas en fachada posterior (noreste).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Izda.** de las casas, se accede a un hall general de distribución de planta. Desde este hall se accede a **dos viviendas A y B idénticas a A y B de plantas 1º-6º** situadas en fachada posterior (noreste).

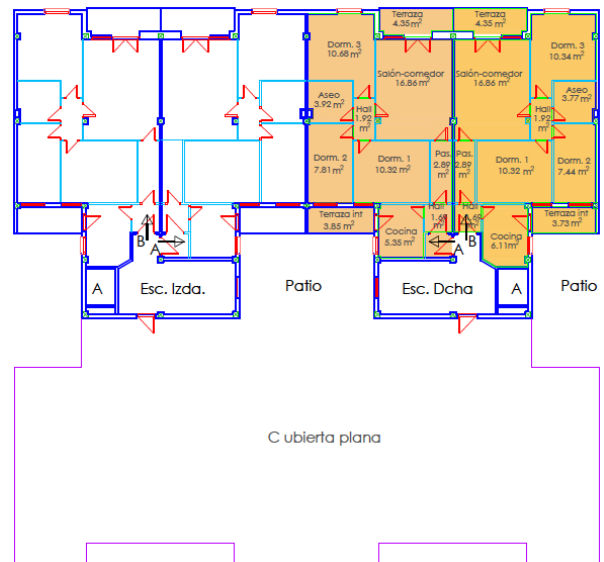


Figura 5: Viviendas de planta 7ª.

Viviendas A y B (Plantas 7º / Fachada noreste).

Consta de un pequeño **hall** que da acceso a la **cocina** que tiene un amplio desahogo en la **terrazza del tendedero**. Alrededor del patio de luces se desarrollan dos amplios **dormitorios**. El **salón-comedor** y un **dormitorio** que da a la fachada principal (Fachada noreste). El salón-comedor tiene una amplia **terrazza** que protege del periodo de mayor calor (canícula). El **aseo** que se ventila mediante un shunt.

Sobreático. (Planta 8ª).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Dcha.** de las casas, se accede a **una vivienda A** situada en fachada posterior (noreste).

Por medio de ascensor (A) o de **Esc. Izda.** de las casas, se accede a **una vivienda A** situada en fachada posterior (noreste).

Vivienda A (Planta 8ª / Fachada noroeste).

Consta de un pequeño **hall** que da acceso a la **cocina** y **aseo** que se ventila mediante ventana exterior. Consta de **salón-comedor** y **dormitorio** y 2 **dormitorios** que dan a la fachada posterior (Fachada noreste).

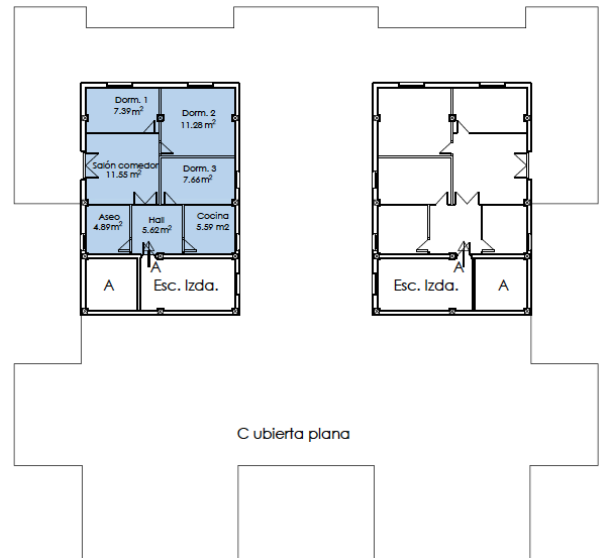


Figura 6: Viviendas de planta 8ª.

2.4 Envoltente térmica.

La envoltente térmica a estudio es la que comprende los siguientes cerramientos:

- Muros en contacto con el aire exterior.
- Medianeras.
- Muros en contacto con espacio no habitable.
- Muros en contacto con el terreno.
- Suelos en contacto con espacio habitable y no habitable.
- Suelo en contacto con el terreno.
- Cubierta en contacto con el aire.
- Huecos. Vidrios y marcos.

En este apartado se documenta con detalle todos y cada uno de los diferentes cerramientos del edificio a estudio para lo cual se han utilizado las siguientes recursos:

- Medidas in-situ de los espesores totales del muro.
- Medidas in-situ de espesores de vidrios.
- Medida de la transmitancia de la pared. (Anexo 8)
- Diferentes fábricas de ladrillos presupuestados para la obra.
- Planos.
- Descripciones en la memoria.

2.4.1 Muros en contacto con el aire exterior.

En el proyecto se han ejecutado dos tipos de muros en contacto con el aire exterior.

La medida del empaquetado total del **muro exterior**, es **de 200mm** medida sobre el hueco de una de la ventanas que se abre a la fachada exterior. Este muro aparece documentado en el presupuesto general, CAPÍTULO V – Albañilería con la siguiente descripción pero sin medida alguna: *"Fábrica de ladrillo cerámico tipo Tudela de 1/2 pie, cámara y tabique de ladrillo hueco sencillo"* [11]

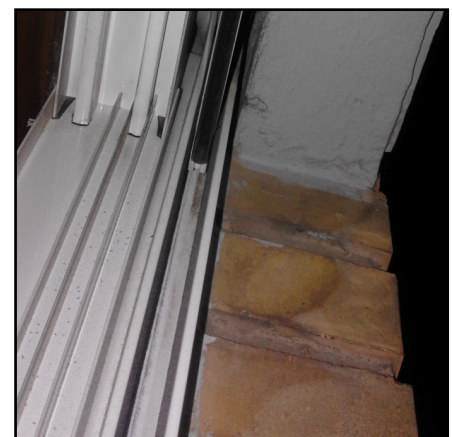


Figura 7: Muro de 200 mm en hueco de ventana.

La medida del empaquetado total del **muro exterior, es de 400mm** medida sobre el hueco de la puerta exterior a la terraza. Este muro no está contemplado ni en la memoria ni en los planos del proyecto [11] y es ejecutado con posterioridad para tapar pilares por lo que no hay ninguna evidencia de sus estructura en el proyecto. En la caja de persiana se puede apreciar que el tabique con el que se forma la cámara es de 40mm.



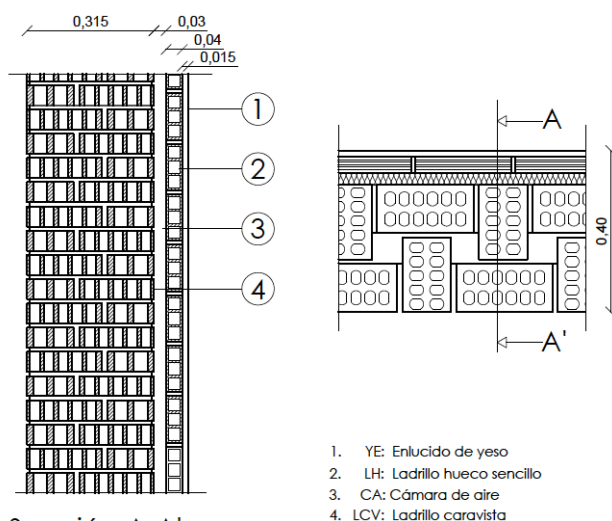
Figura 8: Muro de 400 mm y capialzado del hueco.

Por lo tanto los muros tienen la siguiente estructura:

Muro M1 de 400 mm

Muro formado por 4 capas:

1. YE. Enlucido de yeso de 15 mm
2. LH. Ladrillo hueco sencillo de 40 mm
3. CA. Cámara de aire de 30 mm
4. LCV. Ladrillo cara vista aparejado según aparejo flamenco de 315mm



Sección A-A'

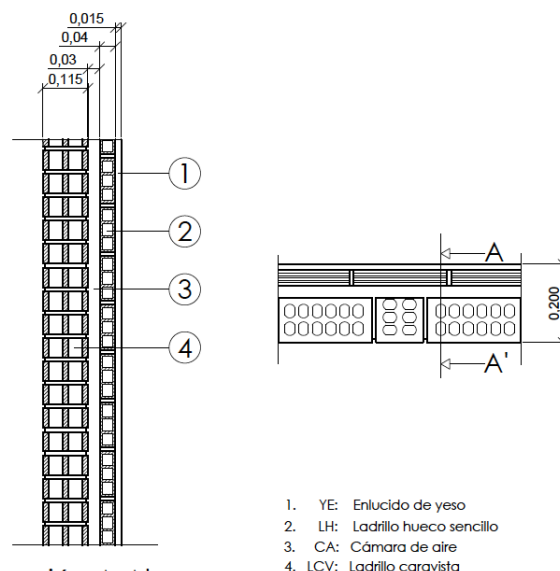
Figura 9: Empaquetado del muro de 400mm.

Muro M2 de 200 mm

Muro formado por 4 capas:

1. YE. Enlucido de yeso de 15 mm
2. LH. Ladrillo hueco sencillo de 40 mm
3. CA. Cámara de aire de 30 mm
4. LCV. Ladrillo cara vista a ½ pie (1) de 115 mm

(1) Terminología antigua para indicar que el ladrillo se coloca a lo largo



Sección A-A'

Figura 10: Empaquetado del muro de 200mm.

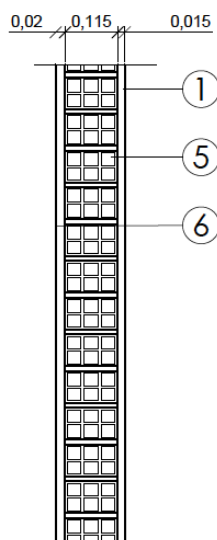
2.4.2 Medianeras.

El **muro medianero** es el único muro que aparece acotado en los planos del proyecto con una medida de **150mm**. Este muro si que aparece documentado en el presupuesto general, CAPÍTULO V – Albañilería con la siguiente descripción pero sin medida alguna: "*Fábrica de tabicón de ladrillo hueco doble.*" [11] Descripción antigua para referirse a la construcción de muros medianeros.

El muro medianero esta construido con ladrillo hueco doble colocado a 1 pie (2) y tiene 3 capas:

2) Terminología antigua para indicar que el ladrillo se coloca a lo ancho

1. YE. Enlucido de yeso de 15 mm
5. LH. Ladrillo hueco doble de 115 mm
6. Enfoscado de mortero de 20 mm



1. YE: Enlucido de yeso
5. LH: Ladrillo hueco doble
6. EM: Enfoscado mortero

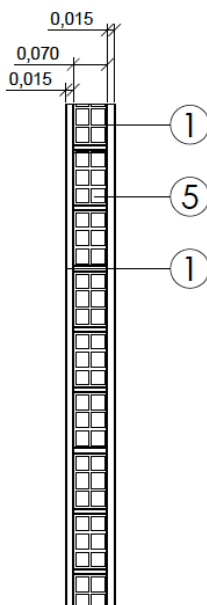
Figura 11: Empaquetado del muro de 150 mm.

Dado que cada uno de los **bloques, se aparean de dos en dos con un solo portal**, se tiene que cada bloque tiene dos medianeras en contacto con los bloques adyacentes.

2.4.3 Muros en contacto con espacio no habitable.

La medida del empaquetado total del **muro interior, es de 100 mm** medido sobre el hueco de la puerta principal de la vivienda que separa ésta de las zonas no habitables (escaleras con rellanos y ascensor). Este muro si que aparece documentado en el presupuesto general, CAPÍTULO V – Albañilería con la siguiente descripción pero sin medida alguna: "*Tabique ladrillo hueco sencillo*" [11]. El muro separador (tabique) está construido con ladrillo hueco doble colocado a ½ pie y tiene 3 capas:

1. YE. Enlucido de yeso de 15 mm
5. LH. Ladrillo hueco doble de 70 mm
1. Enfoscado de mortero de 20 mm



1. YE: Enlucido de yeso
5. LH: Ladrillo hueco doble
1. YE: Enlucido de yeso

Figura 12: Empaquetado del muro de 100 mm.

2.4.4 Muros en contacto con el terreno.

El Muro en contacto con el terreno aparece en el presupuesto general CAPÍTULO III- Hormigones: *"Hormigón en muro de 500Kg de cemento, en muros de sótano. Alto 0,250 m"* [11]. El muro M5 de hormigón esta formado por dos capas:

- 7. IM Capa impermeabilizante
- 8. HA. Hormigón armado

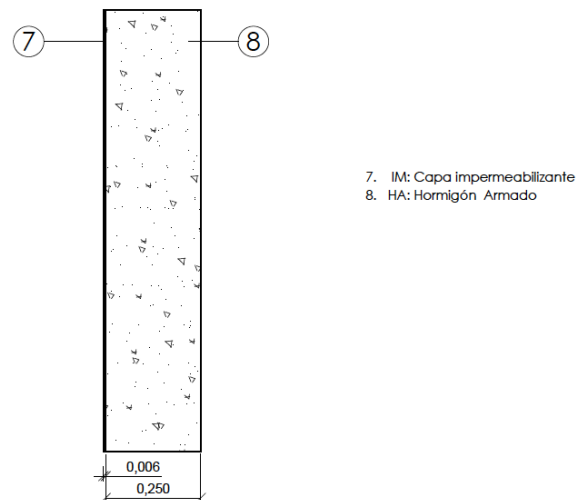


Figura 13: Empaquetado del muro M5 de 250 mm.

2.4.5 Suelos en contacto con espacio habitable y no habitable.

En este proyecto no se diferencian ambos tipos de suelos, que serían los que corresponden con los suelos entre pisos (espacio habitable) y el suelo que separa la planta baja del sótano. Por lo tanto podemos hablar del suelo entre plantas.

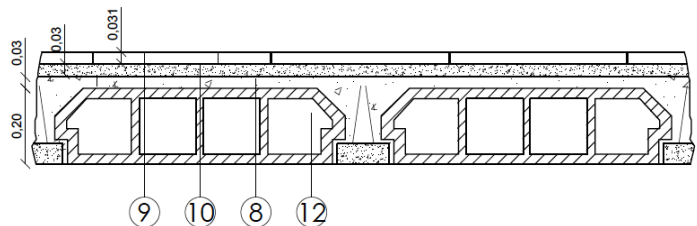


Figura 14: Capas de los forjados de suelo.

El **suelo entre plantas** aparece acotado en los planos con una medida de 200mm. Además aparece la siguiente descripción en la memoria dentro del apartado SISTEMA CONSTRUCTIVO: *"La estructura a utilizar será de hormigón armado con bovedilla de hormigón y vigueta prefabricada, nervios armados de tipo Domo o Covesa"*. [11], lo que contradice la referencia en el presupuesto general, CAPÍTULO V – Albañilería. *"Forjado de pisos con bovedilla cerámica, vigueta pretensada o nervios de hormigón hechos a pie de obra."* [11]. En este caso hemos optado por la referencia del presupuesto ya que desde los capitalizados de la vivienda se aprecia que la bovedilla es cerámica.

El forjado esta formado por 4 capas:

- 9. ST : Solado de terrazo
- 10. SM: Solera de mortero ligero
- 8. HA: Hormigón armado
- 12. BC: Bovedilla cerámica

En el proyecto "LA EVOLUCIÓN DE LOS FORJADOS DE EDIFICACIÓN HACIA UNAS TÉCNICAS MÁS COMPETITIVAS ECONÓMICAMENTE" [17] se citan los forjados de tipo Domo.

Los **solados dentro de la vivienda** aparecen descritos en la memoria dentro del apartado MATERIALES :*"Se ha pensado en realizar los solados en terrazos de Enjisa de 40 x 40 en hall y comedor, de 25 x 25 en dormitorios y terracit de 20 x 20 en aseos y cocina."* [11]

2.4.6 Suelo en contacto con el terreno.

El **suelo en contacto con el terreno** aparece acotado en el plano con una medida de 200mm. Además aparece esta referencia en el presupuesto general, CAPÍTULO III – Hormigones: *"Hormigón en solera de 20 cm de espesor" [11]*

El suelo está formado por 2 capas:

- 10. SM: Solera de mortero ligero
- 8. HA: Hormigón armado

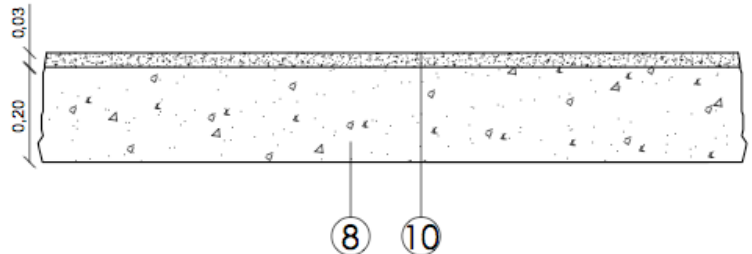


Figura 15: Capas del suelo en contacto con el terreno.

2.4.7 Cubierta en contacto con el aire.

La **cubierta** aparece acotada en los planos con una medida de 200 mm y con la siguiente descripción en la memoria: *"Planta de cubiertas.- En el plano nº 6 se aprecia la planta de cubierta que se realizará de una manera muy sencilla, por medio de terrazas impermeabilizadas no visitables."* [11]

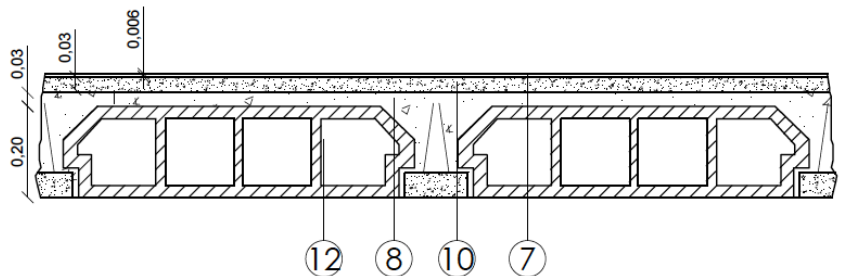


Figura 16: Capas de cubierta en contacto con el aire.

Además en el CAPÍTULO IX – Cubiertas aparece: *"Cubierta completa sobre forjados de pisos con pendientes de hormigón pobre, juntas de dilatación Polibreal y acabado en lámina de aluminio (No visitable)." [11]*

La cubierta es formada por 4 capas:

- 7. IM Capa impermeabilizante
- 10. SM: Solera de mortero ligero
- 8. HA: Hormigón armado
- 12. BC: Bovedilla cerámica

2.4.8 Huecos. Vidrios y marcos.

Se puede consultar los detalles sobre la medidas en el Anexo 6. Planos.

Sobre la **puerta de entrada** (P1) a los pisos, se hace referencia en el presupuesto general CAPÍTULO VII – Carpintería de taller con la siguiente descripción:

"Puerta de entrada a pisos, de hoja (0,82x2,05), cerco de madera, hoja enrasada."
DIMENSIONES: Largo: 0,96 Ancho: 2,12" [11]

Sobre la **puerta de salida a terraza interior o tendederos** (P2) se hace referencia en el presupuesto general CAPÍTULO VIII – Cerrajería con la siguiente descripción:

"Puerta de salida a tendederos." DIMENSIONES: Largo: 0,75 Ancho: 2,10" [11]

En reformas posteriores esta puerta se eliminó debido a que se cerró la terraza interior por lo que no quedan vestigios de este cerramiento. Se sabe que eran de madera, acristalada con vidrio translucido. Las medidas no están incluidas en la memoria y han sido tomadas sobre plano original.

Sobre las **ventanas** exteriores (V1) y (V2), se hace referencia en el presupuesto general CAPÍTULO VIII – Cerrajería con la siguiente descripción:

"Ventanas de chapa zincada." DIMENSIONES: Largo:1,20 Ancho:1,20/Largo: 0,80 Ancho: 1,20" [11]. En el proyecto se colocaron de madera pues aun quedan vestigios de las ventanas originales.

Sobre la **puerta y ventana de salida a la terraza** (P3) y (V3), se hace referencia en el presupuesto general CAPÍTULO VIII – Cerrajería con la siguiente descripción:

"Puerta y ventanas de salida a la terrazas." DIMENSIONES: Largo: 1,34 Ancho: 2,12" [11]

En cuanto a las **ventanas que dan a la terraza interior** (V4) y (V5), no se hace ninguna referencia en el presupuesto general. La medida del hueco se obtiene directamente de la medida in-situ sobre la vivienda. Sus medidas tomadas in-situ son: 0,9x1,2m y 1,1x1,2m respectivamente.



Figura 17: Puerta de salida a terraza exterior.

Otros huecos en espacios no habitables:

En cuanto al **ventanal al patio de luces** (V6) desde escaleras, ni siquiera aparece presupuestado. El marco esta formado de cemento y la hoja de perfil de acero. La medida es 2 x 0,998m.

En cuanto a la **puerta del ascensor** (P4), se hace referencia en el presupuesto general CAPÍTULO XII – Ascensores e instalaciones con la siguiente descripción: *"Puertas metálicas." [11].* Su medida es 0,8x2,12m.



Figura 18: Ventanal al patio Interior.

En cuanto a la **puerta de acceso a cubiertas (P5)** no se hace referencia en el presupuesto. La puerta en origen era de madera pero fue sustituida con posterioridad. Su medida es de 0,75 X 2,10m.

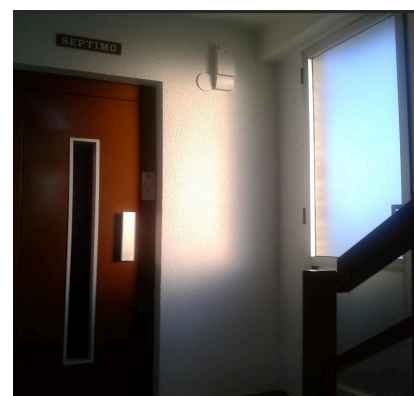


Figura 19: Puerta de ascensor y salida a cubierta exterior.

2.5 Instalación de calefacción.

En cuanto a la instalación de calefacción del edificio no se menciona ni en la memoria, ni en el presupuesto, ni hay plano descriptivo de dicha instalación.

Por ello se procede a recabar datos in-situ.

La instalación tiene las siguientes características:

Caldera central de gasoil:

- Potencia nominal : $P=300000 \text{ kcal/h}$ (348 kW).
- Combustible : gasoil.
- Rendimiento nominal : 88%.
- T° de humos: 230°C .
- T° de salida de agua: 110°C .
- Capacidad de agua : 210 litros.
- Caudal mínimo de agua por caldera: $P/50 \text{ m}^3$.

Radiadores de agua caliente terminales en la viviendas:

- Radiador de 15 elementos en el salón.
- Radiador de 9 elementos en dormitorio.
- Radiador de 8 elementos en dormitorio.
- Radiador de 10 elementos en dormitorio.

Cada radiador dentro de la vivienda tiene su propia entrada de agua caliente y retorno de fría. El número total de elementos es 42 elementos por vivienda.

Válvula de 3 vías.

Válvula que mediante una sonda de temperatura exterior conecta la salida de agua caliente de la caldera al retorno de fría para que ésta se pare.

Marca: SIEMENS.

Modelo : Sal31



Figura20: Caldera, radiador y válvula de 3 vías.

3. Características térmicas del edificio.

3.1 Introducción.

Uno de los datos principales que caracterizan térmicamente los materiales es la transmitancia térmica. La transmitancia térmica (U), es la cantidad de energía térmica expresada en vatios, que pasa a través de un cerramiento por cada m^2 de superficie y grado kelvin de diferencia de temperatura entre ambos lados del cerramiento en estado estacionario. El cálculo de la misma para los distintos cerramientos del proyecto se ha realizado mediante DesignBuilder[12] a partir de las características de los materiales con los que están formados éstos. Las tablas y el procedimiento de cálculo está detallado en el Anexo 15. Determinación de transmitancias de muros y forjados.

3.2 Lista de materiales del proyecto.

Además de la transmitancia térmica debemos caracterizar a los materiales según su densidad, conductividad térmica y calor específico.

	Material de la capa del cerramiento	Densidad	Conductividad	Calor específico
		ρ	λ	C_p
		kg/m^3	$W/m \cdot K$	$J/kg \cdot K$
1	YE. Enlucido de yeso	600	0,18	1000
2	LH. Ladrillo hueco sencillo	770	0,32	1000
3	CA: Cámara de aire		0,034	
4	LCV. Ladrillo cara vista	780	0,35	1000
5	LH. Ladrillo hueco doble	770	0,32	1000
6	EM. Enfoscado de mortero	1900	1,3	1000
7	IM: Capa impermeabilizante	1100	0,23	1000
8	HA: Hormigón armado	2400	2,5	1000
9	ST: Solado de Terrazo	2243	2	837
10	SH: Solera de hormigón	1800	1,35	1000
11	CG: Protección de grava	1840	0,36	840
12	BC: Bovedilla cerámica	500	0,67	1000
13	AT: Aislante térmico	30	0,036	840
14	MM: Mortero armado con malla	1900	1,3	1000
15	AR: Acabado en reboco	1900	1,3	1000
16	GE: Capa geotextil	200	0,06	1300

Tabla 1 Cuadro resumen de los materiales del proyecto.

3.3 Cuadro resumen de transmitancias sin rehabilitar.

En la tabla se muestran los resultados de los cálculos y como cabía esperar, las transmitancias de los diferentes cerramientos NO CUMPLEN con la transmitancia máxima para la zona D3 según marca la "tabla 2.3 Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica" Sección HE 1 Limitación de la demanda energética del CTE. [6]

Cerramiento de la envolvente térmica del edificio	Item	Transmitancia $W/m^2 \cdot K$		Cumplimiento normativa actual
		Calculada	Máxima	
Muros en contacto con el aire de 400 mm	M1	0,689	0,6	NO CUMPLE
Muros en contacto con el aire de 200 mm	M2	1,136	0,6	NO CUMPLE
Muros medianeros de 150 mm	M3	1,592	1,2 (2)	NO CUMPLE
Muros en contacto con espacio no habitable de 100 mm	M4	1,800	0,85 (1)	NO CUMPLE
Muros en contacto con el terreno	M5	3,377	0,6	NO CUMPLE
Cubierta plana exterior	C1	2,005	0,4	NO CUMPLE
Suelo en contacto con espacio habitable y no habitable	F1	1,618	1,2 (2)	NO CUMPLE
Suelo en contacto con el terreno	F2	3,203	0,6	NO CUMPLE
Puerta de entrada a la vivienda	P1	2,157	2,7	CUMPLE
Puerta salida a terraza interior	P2	4,390	2,7	NO CUMPLE
Puerta de salida a terraza exterior	P3	3,952	2,7	NO CUMPLE
Ventana exterior	V1	3,958	2,7	NO CUMPLE
Ventana exterior	V2	4,353	2,7	NO CUMPLE
Ventana a terraza exterior	V3	5,060	2,7	NO CUMPLE
Ventana a la terraza interior	V4	3,928	2,7	NO CUMPLE
Ventana a la terraza interior	V5	4,281	2,7	NO CUMPLE
Ventana al patio de luces desde escaleras	V6	5,513	2,7	NO CUMPLE

Tabla2. Cuadro comparativo de transmitancias.

- (1) La transmitancia térmica de medianeras y particiones interiores que delimitan las unidades de usos residencial de otras de distinto uso o de zonas comunes del edificio no deben superar los valores de la tabla 2.4 [6]
- (2) Cuando las particiones interiores delimiten unidades de uso residencial entre sí, no se superarán los valores de la tabla 2.5 [6]

NOTA.- El edificio no tiene que cumplir con las transmitancias máximas que marca el CTE [6] salvo que se vaya a rehabilitar.

4. El modelo del edificio.

Para la obtención de los resultados energéticos del edificio se han realizado diferentes modelos en DesignBuilder[12] .

Se ha modelado:

- Edificio sin rehabilitar.
- Edificio rehabilitado solamente con la fachada SATE(1).
- Edificio rehabilitado solamente con los huecos.
- Edificio rehabilitado solamente con la cubierta.
- Edificio rehabilitado combinando fachada SATE y huecos.
- Edificio rehabilitado combinando fachada SATE y cubierta.
- Edificio rehabilitado combinando cubierta y huecos.
- Edificio rehabilitado combinando fachada SATE , huecos y cubierta.
- Edificio rehabilitado combinando fachada insuflada(2).
- Edificio rehabilitado combinando fachada insuflada y cubierta.

(1) Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior.

(2) Fachada rehabilitada mediante la insuflación de aislante en la cámara de aire.

Para aproximar el modelo **sin rehabilitar** al edificio real, se han utilizado datos históricos de consumo de gasoil del edificio así como todo el estudio previo que se detalla en este proyecto sobre las características de la envolvente térmica. Se ha comprobado que el modelo se desvía aproximadamente un 11% (Anexo 13) de edificio real, lo que permite obtener resultados extrapolables de los diferentes modelos rehabilitados.



Figura 21: Modelo del edificio sin rehabilitar.

5. Propuestas de mejora.

5.1 Introducción.

En general se va a actuar sobre 3 elementos de la envolvente térmica:

- Fachada exterior.
- Cubierta exterior.
- Huecos. Marcos y vidrios.

Se van a analizar cuatro soluciones para la mejora de la eficiencia térmica del edificio

Solución 1. Aislamiento de la fachada exterior mediante aislante por el exterior de la misma.

Solución 2. Aislamiento de la fachada exterior inyectando un aislante en la cámara de aire.

Solución 3. Aislamiento de la cubierta.

Solución 4. Sustitución de carpinterías más eficientes.

En cuanto a las soluciones 1 y 2 es interesante analizar ambas pues la segunda tiene una importante ventaja, su coste muy económico con el inconveniente que no eliminamos los puentes térmicos de la misma.

En cuanto a la solución 3 es muy interesante evaluarla, dado que la cubierta actual no tiene ningún tipo de aislamiento.

En cuanto a la solución 4, solamente se van a sustituir las carpinterías exteriores.

No vamos a tener en cuenta la mejora de:

- Muro enterrado. El muro enterrado representa menos del 4% de la superficie de la fachada exterior, muy pequeño para ver una mejora importante
- Suelo en contacto con el terreno. En el edificio este suelo se encuentra en una zona no habitable por lo que no se considera su rehabilitación.
- Suelo entre plantas. Se considera que dividen zonas térmicamente similares por lo que no habría una variación importante en el comportamiento térmico del edificio.
- Medianeras. En este caso, no son medianeras al aire que si que podría ser muy interesante su aislamiento.

5.2 Solución 1. Mejorar en fachada mediante SATE.

La solución consiste en recubrir el exterior de la fachada con un aislante o sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composites Systems*) más conocida en España como SATE. El inconveniente respecto a la solución 2 es que es una solución cara aunque para fachadas ventiladas esta actuación es una de las más económicas.

Las dos ventajas principales son, que elimina todos los puentes térmicos de la fachada y la transmitancia se ve favorecida por la inercia térmica del muro al dejar la parte caliente de éste al interior del edificio.

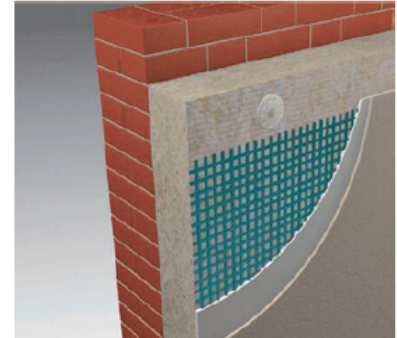


Figura 22: Capas de muro reformado con SATE
Fuente : Knauf insulation[18].

El aislante térmico utilizado son planchas de lana mineral de muy baja conductividad ($\lambda_D = 0,036 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) situadas directamente sobre la fachada y unidas mediante unos pernos de sujeción. Se refuerza todo el conjunto con una capa de mortero armado con una malla y se termina mediante un acabado exterior texturizado.

La superficie a reformar no es la superficie total de la envolvente. Se ha suprimido el perímetro de fachada de 400 mm que encierra las galerías exteriores.

Las razones de esta decisión son :

- La pared al ser tan gruesa ya proporciona un aislamiento adecuado.
- Esta superficie está prácticamente cubierta por el hueco de la puerta y ventanal de la terraza exterior, lo que hace que gran parte del aislamiento los proporcionen los huecos.
- Al mantener una parte de la fachada, se consigue preservar parte del aspecto original del edificio además de dar volumen al mismo



Figura 23: Imagen modelizada de la reforma.

	Material de la capa del cerramiento	Densidad	Conductividad	Calor específico
		ρ kg/m ³	λ W/m · K	C_p J/kg · K
13	AT: Aislante térmico	30	0,036	840
14	MM: Mortero armado con malla	1900	1,3	1000
15	AR: Acabado en reboco	1900	1,3	1000

Tabla 3. Materiales de la reforma del muro SATE.

Espesor de óptimo del aislante: **80 mm** (Anexo10)

Transmitancia Térmica: **$U=0,322 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{k}$**

Coste de la reforma:

Coste unitario de la reforma = **60,032 €/m²**

Superficie de fachada a rehabilitar= 1.255,04 m²

Coste : Superficie de fachada x Precio unitario=

60,032 · 1.255,04 = 75.342,56 €

IVA = 1.5821,91 €

Total= **91.164,49€**

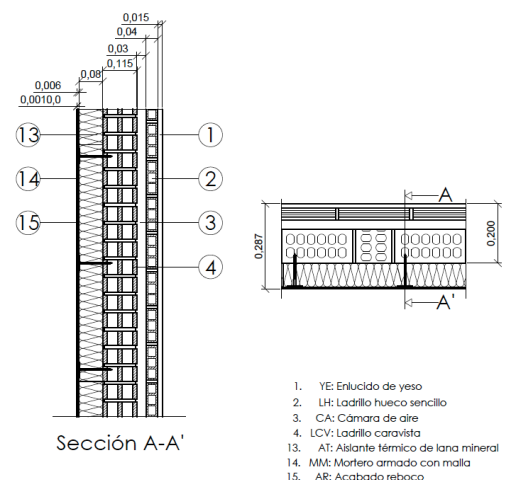


Figura 24 Capas del muro de 200mm reformado.

5.3 Solución 2. Mejora de la fachada exterior mediante relleno de la cámara de aire.

Este sistema tiene una gran eficacia y lo más importante es su relación calidad/precio. Especialmente diseñada para la rehabilitación de fachadas con cámara de aire existentes en muros de doble hoja de fábrica de ladrillo. El aislante es lana mineral de muy baja conductividad ($\lambda_D = 0,036 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y es insuflado directamente en la cámara de aire de una forma mecánica. En nuestro caso, tiene el inconveniente del poco espesor de la cámara de aire. En fachadas ventiladas con mayores espesores de cámara esta opción es realmente interesante.



Figura 25: Imagen del relleno de la cámara
Fuente : Knauf insulation[18].

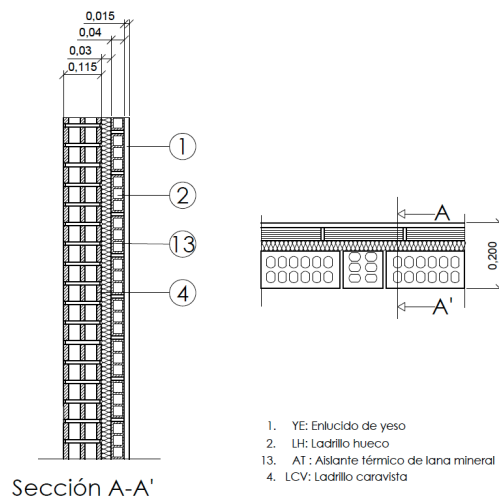


Figura 26 Capas del muro de 200mm reformado con insuflación.

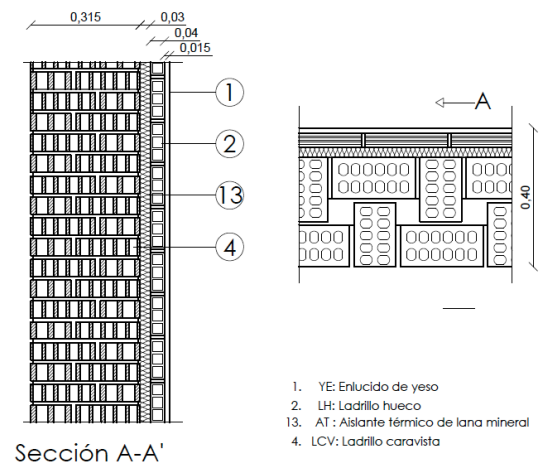


Figura 27 Capas del muro de 400 mm reformado con insuflación.

	Material de la capa del cerramiento	Densidad	Conductividad	Calor específico
		ρ	λ	C_p
		kg/m^3	$\text{W/m} \cdot \text{K}$	$\text{J/kg} \cdot \text{K}$
13	AT: Aislante térmico	30	0,036	840

Tabla 4. Materiales de la reforma del muro insuflado.

Transmitancia del muro de 400mm: **$U_{\text{muro}400\text{mm}} = 0,463 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$**
 Transmitancia del muro de 200mm: **$U_{\text{muro}200\text{mm}} = 0,629 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$**

Coste de la reforma:

Precio unitario : **29,95 €/m²**
 Superficie de fachada= 1.514,94 m²
 Coste : Superficie de fachada x Precio unitario = 29,95 · 1.514,94= 45.372,45 €
 IVA = 9.528,21 €
 Total= **54.900,66 €**

5.4 Solución 3. Aislamiento de la cubierta.

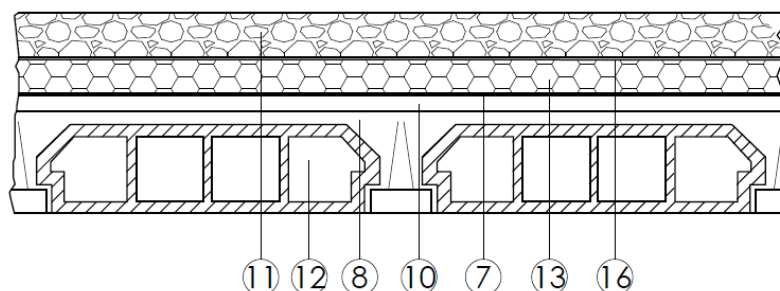
Para el caso de nuestro edificio con una cubierta plana invertida que tiene una manta impermeable en buenas condiciones la solución de rehabilitación térmica más sencilla y eficaz, es colocar un panel aislante directamente encima de dicha capa, cubrir este aislante con una manta separada geo-textil anti-punzante para terminarla con una capa de protección de grava. Esta solución implica que la cubierta soporte el nuevo peso de esta capa de grava añadida. Dado que la cubierta se ejecuta sobre la misma estructura que tienen los forjados que constituyen el suelo entre plantas, consideramos soportaría dicho peso.

	Material de la capa del cerramiento	Densidad	Conductividad	Calor específico
		ρ kg/m ³	λ W/m · K	C_p J/kg · K
11	CG: Protección de grava	1840	0,36	840
13	AT: Aislante térmico	30	0,036	840
16	GE: Capa geotextil	200	0,06	1300

Tabla 5. Materiales de la reforma de la cubierta.

Espesor de optimo del aislante: **75 mm** (Anexo10)

Transmitancia Térmica: **$U=0,345 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$**



- 11. GR: Capa de grava
- 16. GE: Capa geotextil antipunzante
- 13. AT : Aislante térmico de lana mineral
- 7. IM : Capa impermeabilizante acabado aluminio.
- 10. SM : Solera de motero ligero
- 8. HA: Hormigón armado
- 12. BC: Bovedilla cerámica.

Figura 28. Capas de la cubierta reformada.

Coste de la reforma:

coste unitario **29,28 €/m²**

Superficie de fachada= 464,0 m²

Coste : Superficie de fachada x Precio unitario = 29,28 €/m² · 464 m² = 13.585,92€

IVA = 2.853,04 €

Total= **16.438,96 €**

5.5 Solución 4. Mejora de huecos. Vidrios y marcos

Entre las posibilidades a elegir para esta reforma están:

Ventanas de PVC o, de Aluminio con rotura de puente térmico. Las diferencias entre ambas son fundamentalmente el precio y el grado de aislamiento. En cuanto al precio, las ventanas de PVC son un 10% más caras que las de aluminio. Por el contrario, el aislamiento en PVC mejora considerablemente pasando de una ventana de aluminio con rotura de puente térmico mayor o igual a 12 mm que tiene una transmitancia del marco $U = 3,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a un marco de PVC con una transmitancia $U = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

En este caso, es importante reseñar que el edificio original contaba con carpinterías de madera maciza con espesores de marco muy grandes de 100mm, lo que proporciona un aislamiento térmico de los marcos de la misma magnitud que el PVC. Los vidrios eran de 4mm monolíticos lo que empeoraba el comportamiento del hueco.

Este hecho nos obliga a irnos a marcos como mínimo de igual calidad térmica y por tanto a marcos de PVC. Para los vidrios hay que acudir a vidrios de doble hoja y baja emisividad para obtener una mejora reseñable. Por lo tanto, las características de los nuevos huecos serían:

Carpintería compacta con capitalizado con persiana incluida.

Tipo correderas para la ventanas y practicable para la puerta de la galería, ambas de 2 hojas

Marco:

- Material: PVC acabado natural
- Transmitancia: $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Vidrio:
- Baja emisividad $e < 0,03$
- Espesor: 4-14-6 (24 mm)
- Transmitancia: $1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Factor solar : 68%

Transmitancia del hueco V1: $1,643 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Transmitancia del hueco V2: $1,664 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Transmitancia del hueco V3: $1,558 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Transmitancia del hueco P3: $1,694 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

En el Anexo 19. Catálogo de carpinterías de PVC se puede consultar un catálogo comercial que podría proporcionar las carpinterías de unas características similares a las solicitadas para el proyecto.

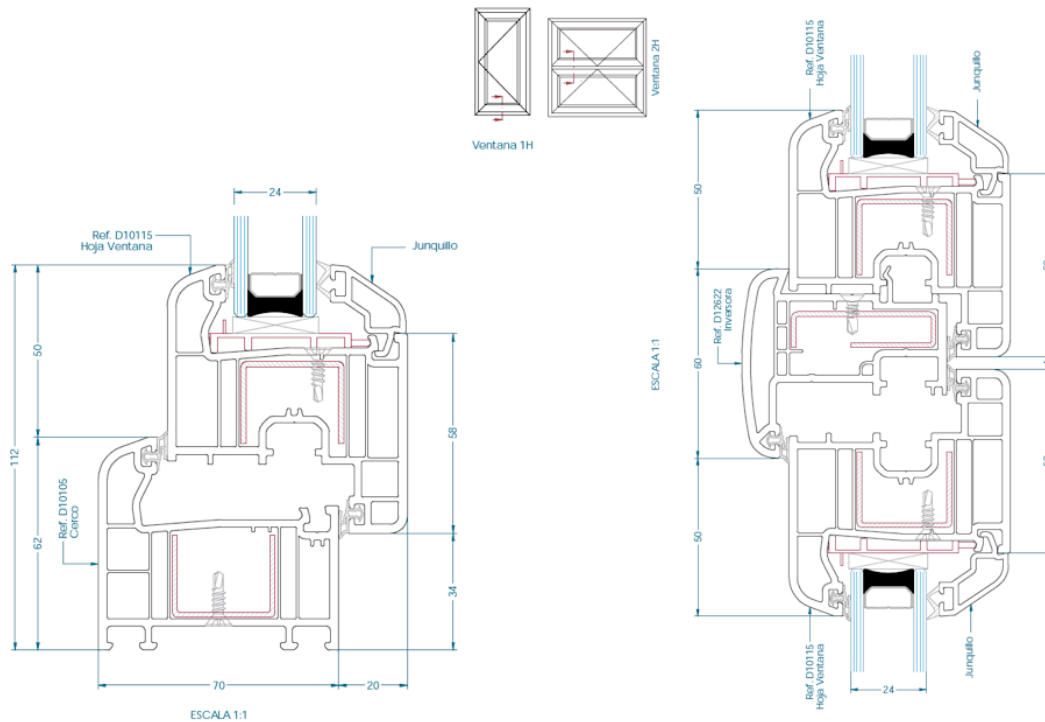


Figura 29: Puertas practicables.

Fuente: Catálogo comercial PVC 2015 del Grupo Ayuso[19].

Nota.- Para el ventanal fijo V3 se utiliza el mismo sistema que la puerta practicable pero sin apertura.

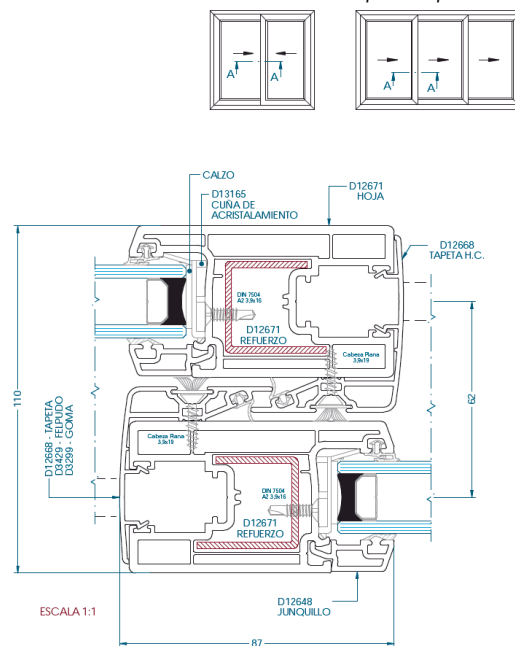


Figura 30: Ventanas correderas.

Fuente: Catálogo comercial PVC 2015 del Grupo Ayuso[19].

Coste de la reforma:

Coste de V1 = 2.148,84€

Coste de V2= 23.024,848€

Coste de V3= 20.234,49€

Coste de P3=42.023,89€

TOTAL CON IVA= **87.432,06 €**

5.6 Resumen de transmitancias reformadas.

Cerramiento de la envolvente del edificio	Item	Transmitancia W/m ² · K		Cumplimiento normativa actual
		Calculada	Máxima	
Muros SATE en contacto con el aire de 400mm	M1	0,272	0,6	CUMPLE
Muro SATE en contacto con el aire de 200 mm	M2	0,322(3)	0,6	CUMPLE
Muros medianeros de 150 mm	M3	1,592	1,2 (2)	NO CUMPLE
Muros en contacto con espacio no habitable de 100 mm	M4	1,8	0,85 (1)	NO CUMPLE
Muros en contacto con el terreno	M5	3,37	0,6	NO CUMPLE
Cubierta plana exterior	C1	0,345	0,4	CUMPLE
Suelo en contacto con espacio habitable y no habitable.	F1	1,618	1,2 (2)	NO CUMPLE
Suelo en contacto con el terreno	F2	3,203	0,6	NO CUMPLE
Puerta de entrada a la vivienda	P1	2,132	2,7	CUMPLE
Puerta salida a terraza interior	P2	4,39	2,7	NO CUMPLE
Puerta de salida a terraza exterior	P3	1,694	2,7	CUMPLE
Ventana exterior	V1	1,643	2,7	CUMPLE
Ventana exterior	V2	1,664	2,7	CUMPLE
Ventana a terraza exterior	V3	1,558	2,7	CUMPLE
Ventana a la terraza interior	V4	3,928	2,7	NO CUMPLE
Ventana a la terraza interior	V5	4,281	2,7	NO CUMPLE
Ventana al patio de luces desde escaleras	V6	5,513	2,7	NO CUMPLE

Tabla 6. Cuadro resumen de transmitancias reformadas.

- (1) La transmitancia térmica de medianeras y particiones interiores que delimitan las unidades de usos residencial de otras de distinto uso o de zonas comunes del edificio no debe superar los valores de la tabla 2.4
- (2) Cuando las particiones interiores delimiten unidades de uso residencial entre sí, no se superarán los valores de la tabla 2.5.
- (3) Es el único muro reformado. El muro M1 caso de realizarse la reforma quedaría con 0,272 W/m² · K

6. Análisis de los resultados.

6.1 Análisis económico de las inversiones.

Para este proyecto se han estudiado tres reformas, fachada, cubierta y huecos. Dentro de la reforma de la fachada se han estudiado dos posibilidades, una rehabilitación mediante procedimiento SATE, y otra mediante insuflado de aislante en la cámara de aire.

En cuanto al **coste de estas rehabilitaciones**, los resultados dejan de manifiesto:

1. La rehabilitación con un mayor coste es la fachada SATE. El menor coste se lo lleva la rehabilitación de la cubierta.
2. Hay grandes diferencias económicas entre los costes de estas reformas. El coste de reformar la cubierta es un 81,97 % menor que la fachada SATE.
3. La reforma de la fachada mediante insuflación de aislante en la cámara de aire está próxima a un 40% más económica que la fachada SATE.
4. El coste de la reforma de los huecos es prácticamente igual que la reforma de la fachada mediante SATE.

Resumen económico de la inversiones	Coste de la reforma (€)	Desviación respecto a solución 1 (%)
Solución 1. Aislamiento de la fachada exterior mediante aislante por el exterior de la misma (SATE)	91164,50	
Solución 2. Aislamiento de la fachada exterior inyectando un aislante en la cámara de aire	54900,67	39,78%
Solución 3. Aislamiento de la cubierta	16438,96	81,97%
Solución 4. Sustitución de carpinterías más eficientes-	87432,12	4,09%

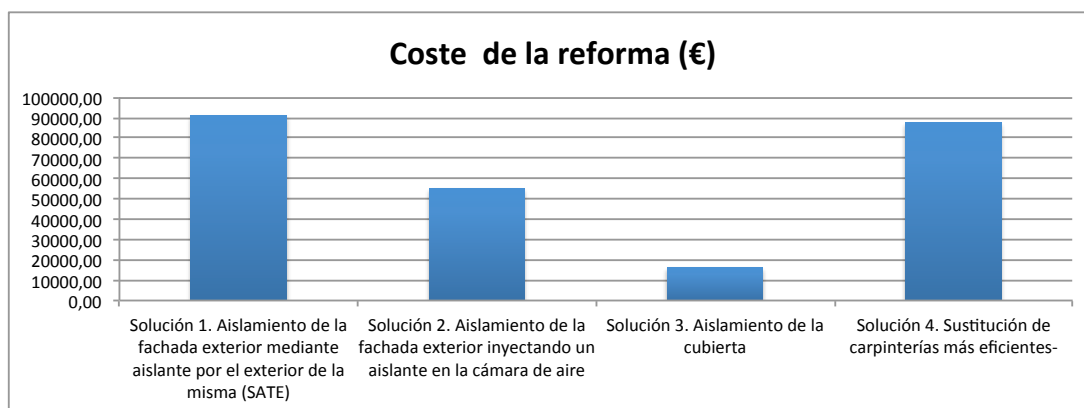


Figura 31. Gráfico resumen del coste de las inversiones

En cuanto a la **viabilidad económica de las rehabilitaciones** (Anexo12) realizadas mediante VAN a 25 y 50 años se obtienen las siguientes conclusiones:

Fachada mediante SATE.- Es un procedimiento caro (91.164 .49€) que exige la instalación de andamios y su precio es susceptible de la dificultad de la fachada. Esto hace que realizando solamente su reforma no se puede amortizar en 25 años, teniendo que ir a una inversión a 50 años. Aunque el ahorro a 50 años sería 23.033,98 €, convendría unirla a la reforma de la cubierta.

Cubierta. Con un coste que no llega a 17.000 € es una de las mejores inversiones aunque se realice de forma aislada. En nuestro caso, obtenemos un periodo de retorno próximo a los 7 años y ahorros económicos cercanos a 28.000 euros y 49.000 para 25 y 50 años respectivamente. Esto supondría un coste 304,42 Euros por vivienda con un ahorro para la comunidad de 2.550,15 Euros al año.

Huecos. El edificio, tenía instalado de origen, carpinterías de madera con espesores de marco de 100mm con vidrios de 4mm monolíticos. Este precedente es muy importante ya que el aislamiento que proporciona la madera en nuestro caso es del mismo orden que el PVC de los marcos nuevos. Esto hace que solo se obtengan beneficios de los nuevos vidrios, y que el coste de los nuevos marcos no sea amortizable y por tanto no sea una inversión viable en términos económicos. En nuestro caso, la inversión en huecos, estaría desaconsejada en términos económicos pues no sería amortizable. Si bien es cierto que se podría unir a otras reformas, estas inversiones se van a amortizaciones de 50 años

Fachada SATE + huecos. Como se ha comentado antes, nos iríamos a una amortización a 50 años con un ahorro total de 18.626,20 €. En este caso el coste total de la reforma es demasiado elevado, 178.596,66 € (3.307 Euros por vivienda). Como positivo, es la segunda reforma que más ahorro tiene, 7.524,22 Euros al año para la comunidad.

Fachada SATE+ cubierta. Es sin duda la mejor inversión. Aunque su coste no es el más elevado, suponen 107603 € , sin embargo la amortización a 25 y 50 años son 15.424,08 € y 74.182,91€ respectivamente. El coste por vivienda sería de 1992,65 € , y supone un ahorro de 7.065,23 € al año para la comunidad.

Huecos + cubierta. Dado que intervienen los huecos nos vamos a una amortización a 50 años de 47.379,50€. El coste es de 100.871,08€ y supone un ahorro de 5.878€ a la comunidad.

Fachada SATE+ cubierta + huecos. Como vuelve a intervenir los huecos nos vamos a 50 años con un ahorro total del 70.208,70€. Si bien es cierto que el coste, es el mayor, 195.034,74 € nos vamos a un ahorro 10.308 € al año para la comunidad.

Fachada insuflada. Totalmente desaconsejada su reforma debido a que en nuestro caso solo disponemos de 30mm de cámara. Aunque la inversión es un 39,78% menor que la fachada SATE el ahorro es prácticamente el 6% y la amortización supera con creces los 50 años

Fachada insuflada+ cubierta. Sería un reforma interesante. Los ahorros totales en 25 y 50 años serían 3.171,5 € y 38.753,23€ respectivamente, con un coste menor que realizarlo con la fachada SATE, claro que el ahorro anual sería menor, 5.789,42€

6.2 Análisis térmico de las reformas.

Todas y cada una de las reformas, bien sean unidas o separadas, mejoran la **eficiencia térmica del edificio**. Estas mejoras van desde un 12,21% reformando la cubierta hasta un 49,34% reformando fachada SATE + cubierta + huecos.

En cuanto al **consumo y demanda límite** del CTE, aunque no es dato prescriptivo para nuestro proyecto, resulta interesante mostrar los resultados frente a los que marca para un edificio nuevo en la zona climática D3 el CTE[6]. Además DesignBuilder no está dentro de los programas que permiten la certificación de un edificio en este aspecto.

Tipo de reforma	Consumo de energía primaria no renovable (kWh / m ² · año)
Sin reformar	83,94
Fachada SATE	66,10
Huecos	71,43
Cubierta	73,69
Huecos + Fachada SATE	53,71
Fachada SATE + Cubierta	55,55
Huecos + Cubierta	60,32
Fachada SATE + Cubierta + Huecos	42,52
Fachada INSUFLADA	89,96
Fachada INSUFLADA + Cubierta	76,15

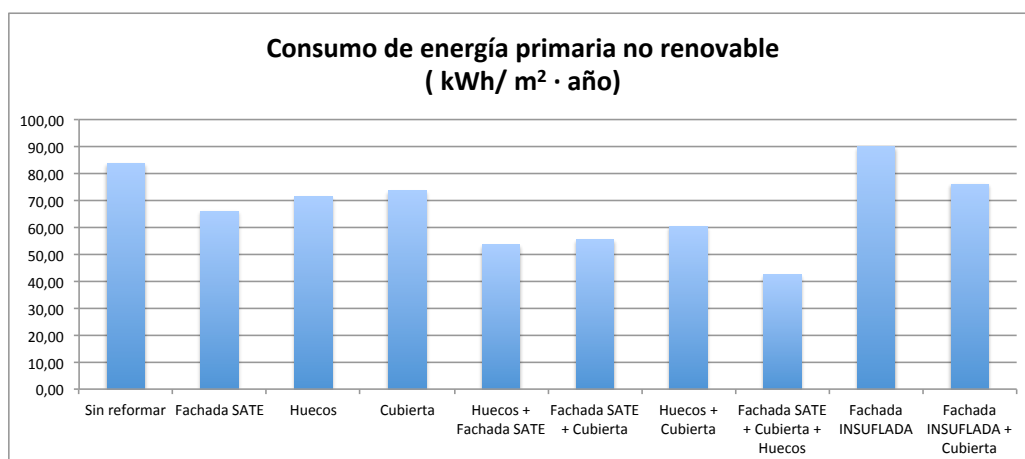


Figura 32. Gráfico resumen del consumo de energía primaria no renovable.

En cuanto a la demanda límite, ninguna de las reformas cumpliría con el CTE[6]. La que más se aproximaría sería la rehabilitación de Fachada SATE+ huecos + cubierta con un valor de **25 kWh/m² · año** frente a los **20,46 kWh/m² · año** del CTE para este edificio. El consumo límite para nuestro edificio es **60,69 kWh/m² · año** y por la tanto solo lo cumpliría las reformas combinadas, sin incluir las que interviene la fachada insuflada.

El factor de paso de energía final a energía primaria no renovable es **1,179**.

En cuanto al consumo de combustible se podría ahorrar hasta un **49,34%** por término medio en el edificio, pues estos valores quedan corregidos a nivel de plantas

Tipo de reforma	Ahorro de energía final (% año)
Fachada SATE	21,24%
Huecos	14,89%
Cubierta	21,21%
Huecos + Fachada SATE	36,21%
Fachada SATE + Cubierta	33,82%
Huecos + Cubierta	28,14%
Fachada SATE + Cubierta + Huecos	49,34%
Fachada INSUFLADA	6,05%
Fachada INSUFLADA + Cubierta	20,48%

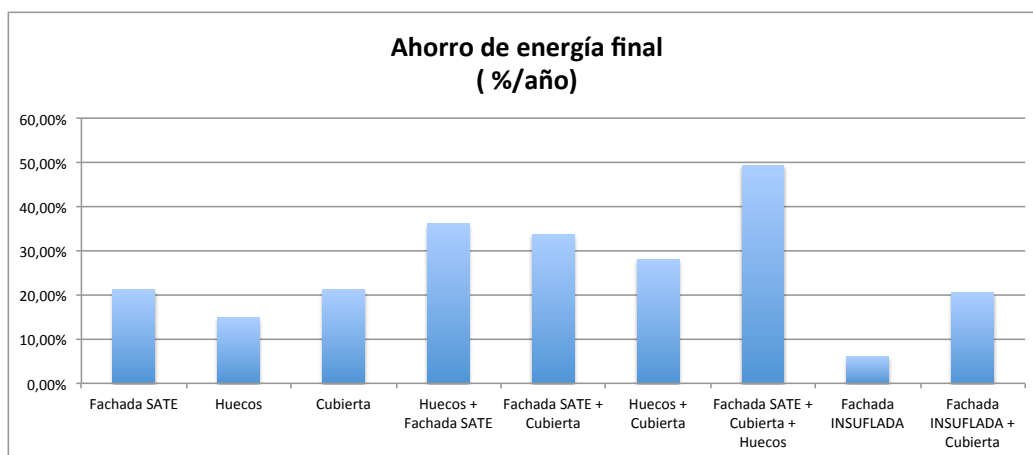


Figura 33. Gráfico resumen del ahorro de energía final.

Es interesante analizar la **demanda por plantas** para el caso que la comunidad decidiera actualizar la calefacción central por una individual. Analizando las reformas más interesantes en este aspecto los resultados arrojan:

- Fachada SATE.- Todas las plantas se ven mejoradas por igual en torno a 24% de media.
- Fachada SATE + cubierta .- Las primeras plantas desde la 1ª hasta la 5ª la mejora es parecida en torno al 25% . Las plantas 6ª y 7ª mejoran un media del 50%, y la planta más beneficiada es la planta 8ª con un 65% de mejora .
- Fachada SATE + cubierta + huecos. Las primeras plantas de la 1ª a la 5ª mejoran un 45%. Las plantas 6ª y 7ª, mejoran un 65% de media, y la planta 8ª mejora un 77% de media.
- Fachada SATE + huecos.- Las primeras plantas de la 1ª a la 5ª mejoran un 44% de media , y las plantas 6ª y 7ª mejoran un 31% y la planta 8ª una mejora del 36%.

En cuanto al **análisis por viviendas**, con todas y cada una de las reformas se mejora el **confort en las viviendas**. Este nivel de confort se ha medido **analizando la MENOR desviación porcentual de la temperatura media operativa respecto a la temperatura media del aire**, para una temperatura de consigna de 21°C, y se ha realizado para el mes más frío del año en Zaragoza, que es el mes de enero.

*Nota.- La **temperatura operativa** es la que realmente notamos como sensación de confort ya que, es la media entre la **temperatura del aire** que se obtiene mediante la calefacción y la **temperatura radiante**, que es la temperatura a la que están las superficies de la estancia como paredes, vidrios, mobiliario, etc.*

Antes de entrar en detalle pormenorizado del nivel de confort obtenido es interesante poner de relieve el **comportamiento térmico del edificio sin rehabilitar**, pues aunque constructivamente el edificio es simétrico, el comportamiento térmico de éste es asimétrico. Aunque este comportamiento es fácil de obtener de una forma cualitativa, es muy interesante ver los resultados cuantitativos que facilitan este tipo de programas para cuantificar posibles reformas en particular a nivel de vivienda.

Las **viviendas A** (Esc. Dcha.) son un **5,46% de media más cálidas** que las viviendas A de la (Esc. Izda.) Para la planta 7ª este comportamiento se invierte. La desviación disminuye hasta la 5ª planta, aumenta un poco en la 6ª, notándose un fuerte incremento en la 7ª y 8ª por estar bajo cubierta sin aislar.

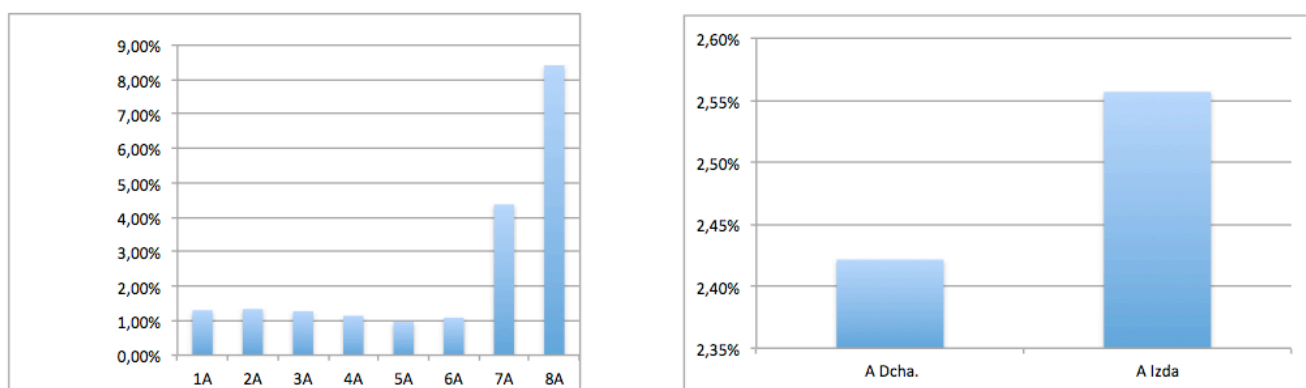


Figura 34. Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas A

Las **viviendas D** (Esc. Izda.) son un **1,94% más cálidas** que las viviendas D de la (Esc. Dcha.) La desviación disminuye hasta la 2ª planta, aumenta un poco en la 4ª, notándose un fuerte incremento en la 5ª y 6ª por estar bajo cubierta sin aislar.

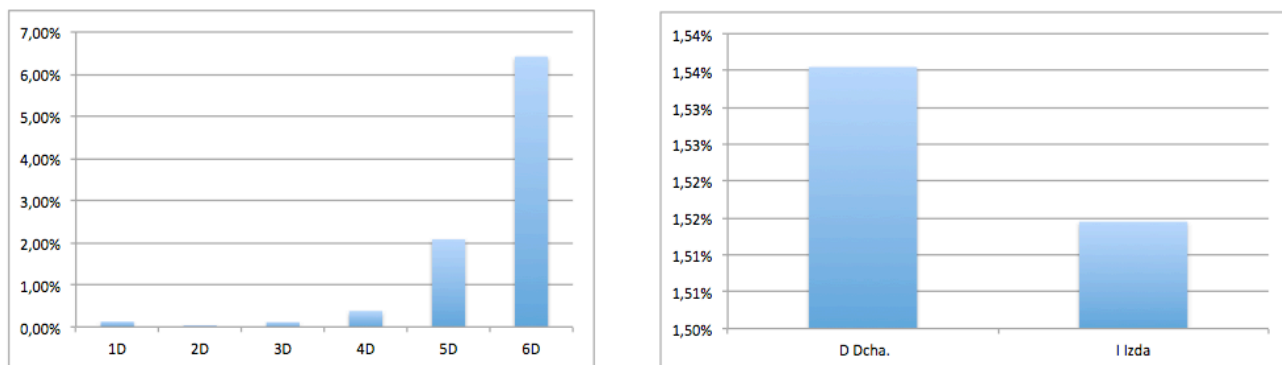


Figura 35. Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas D

Las **viviendas B** (Esc. Dcha.) son un **24,25 % más cálidas** que las viviendas B de la (Esc. Izda.). La desviación aumenta hasta la 3ª planta, disminuyendo hasta la 6ª, notándose un fuerte incremento en la 7ª por estar bajo cubierta sin asilar.

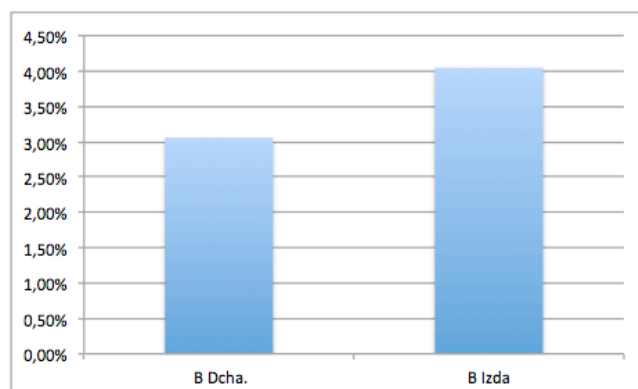
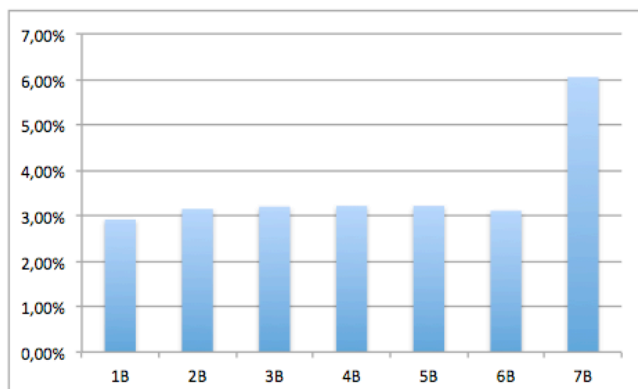


Figura 36. Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas B

Las **viviendas C** (Esc. Dcha.) son un **3,56 % más cálidas** que las viviendas C (Esc. Izda.) La desviación aumenta hasta la 5ª notándose un fuerte incremento en la 6ª por estar bajo cubierta sin asilar.

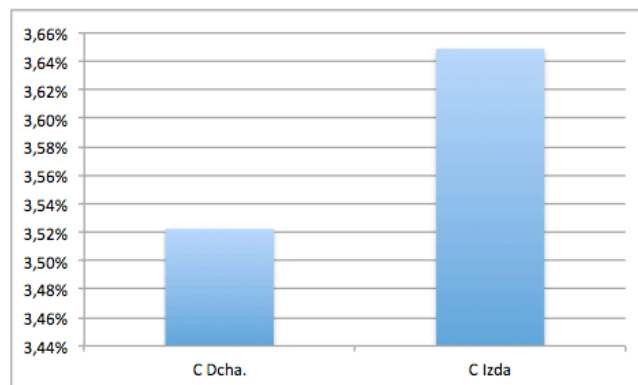
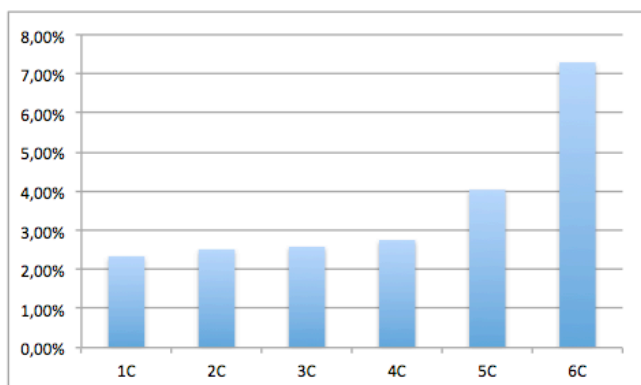


Figura 37. Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas C

Las viviendas A y D que no están en contacto con muros medianeros son un **46,4% más cálidas** que las viviendas B y C en contacto con muros medianeros. Las viviendas C, D en fachada SO son un **15,23 % más cálidas** que las viviendas A,B en fachada NE.

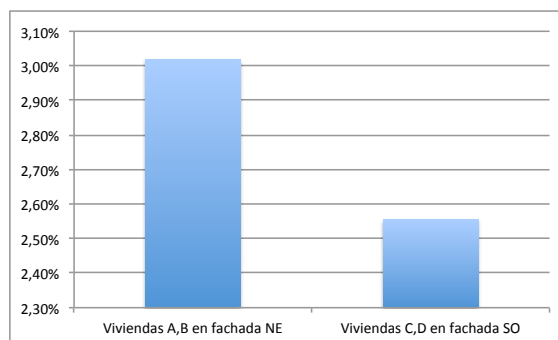
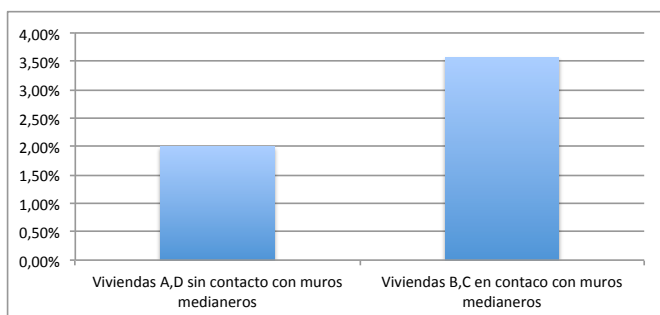


Figura 38. Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas A,B,Cy D según fachada y medianeras.

A partir del análisis del comportamiento térmico del edificio analizamos los resultados de las reformas de forma pormenorizada. Estos resultados están interpretados en términos porcentuales de mejora de desviación de la temperatura operativa respecto a la del aire.

1. FACHADA. La mejora es general en todas las viviendas de un **17,54 %**
2. HUECOS . La mejora es general en todas las viviendas de un **20,3 %**
3. CUBIERTA. La últimas plantas son las más beneficiadas. Todas éstas mejoran por encima del 40% a excepción de las viviendas 7B Dcha. y 7B Izda. que se quedan por debajo del 30%. El motivo, es porque parte de la cubierta de estas viviendas es terraza exterior de las viviendas de la planta 8ª, y dicha terraza no se ha rehabilitado por ser una terraza de uso privado y no formar parte de la cubierta exterior. Además vemos que la vivienda 7B Izda. mejora un poco menos debido a que es una vivienda más fría, tal y como se ha puesto de relieve en la descripción de comportamiento del edificio. En cuanto a las viviendas 7A Dcha. y 7A Izda. se ve la inversión del comportamiento respecto al resto de viviendas A. En cuanto a la planta 6ª, solo se han analizado las viviendas que están bajo cubierta pues las viviendas A y B tiene encima la planta 7ª. Vemos de nuevo como las viviendas 6C Dcha. y 6D Izda. queda por encima su mejora que sus correspondientes viviendas de su otra escalera por ser viviendas más cálidas. De igual manera pasa con la vivienda 8A Dcha. que su mejora es mayor por ser una vivienda más cálida que la 8ª Izda.

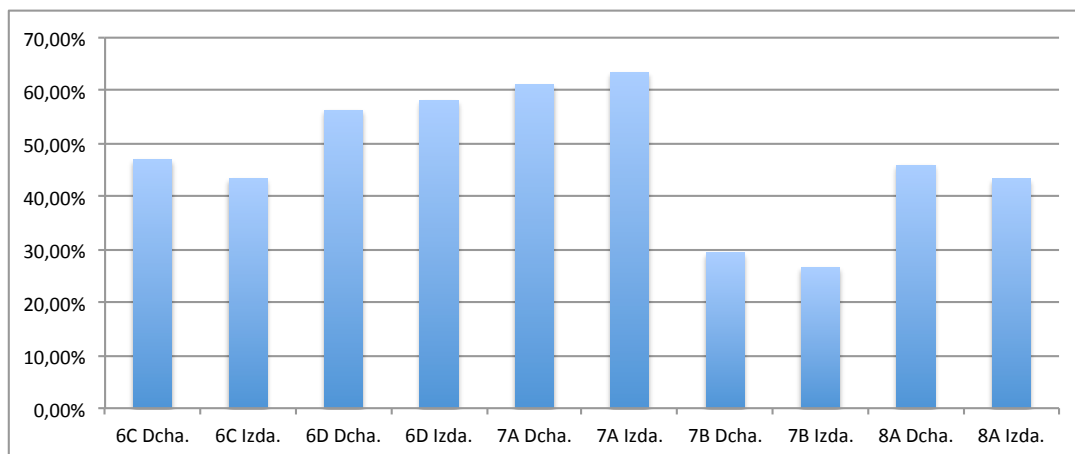


Figura 39. Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª, 7ª y 8ª por reforma de la cubierta.

4. HUECOS + FACHADA SATE . La mejora es general en todas las viviendas de un **25,26%**

5. FACHADA +CUBIERTA. Quitando las últimas plantas 6º, 7º y 8º el promedio de mejora es de un **17,5 %**.
En general, el comportamiento es igual a la reforma de la cubierta pero con valores más altos. Notamos una igualación en las viviendas 6D Dcha. y 6D Izda. pues además de ser las viviendas más cálidas del edificio, las diferencias entre ellas apenas llega al 2%.

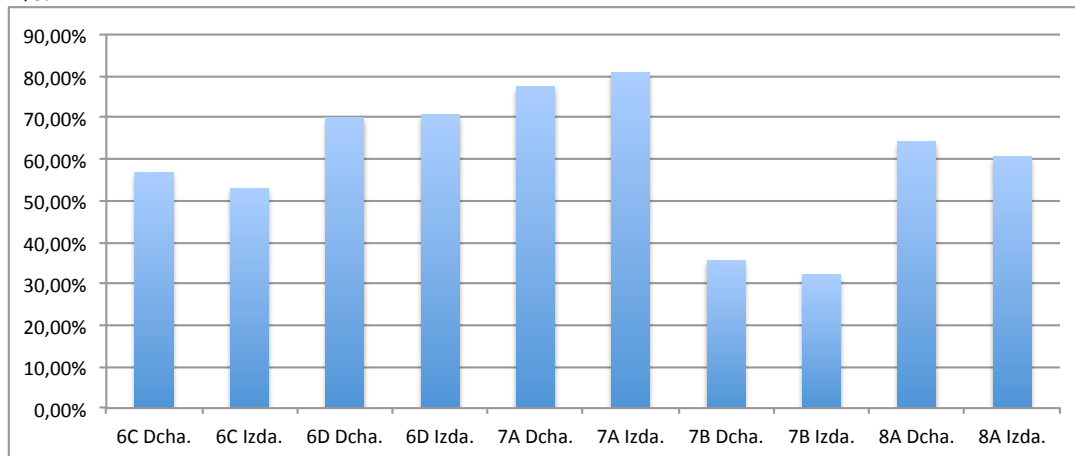


Figura 40. Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6º, 7º y 8º por reforma de la fachada + cubierta.

6. HUECOS + CUBIERTA. Quitando las últimas plantas 6º, 7º y 8º el promedio de mejora es de un **26,8 %**.
Comportamiento igual al de la fachada+ cubierta pero con valores ligeramente inferiores.

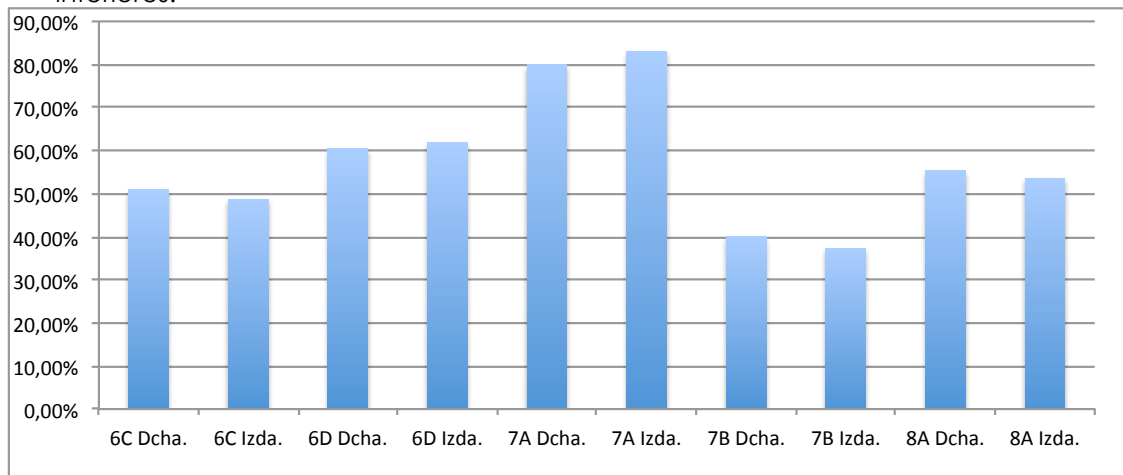


Figura 41. Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6º, 7º y 8º por reforma de huecos + cubierta.

7. HUECOS + FACHADA + CUBIERTA. Quitando las últimas plantas 6º, 7ª y 8ª el promedio de mejora es de un **32,96%**.
Es donde se obtienen los mayores niveles de confort. Hacer notar como las viviendas 7A Dcha. y 7A Izda. al aplicar la reforma competa siguen la tendencia climática de del resto de viviendas A.

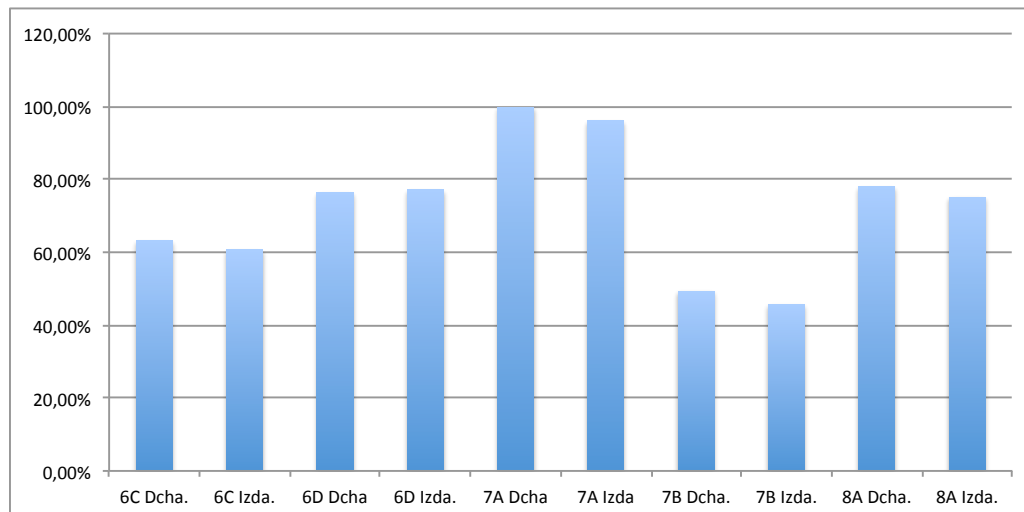


Figura 42. Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª, 7ª y 8ª por reforma de fachada + huecos + cubierta

Analizando los resultados aparece este mapa de viviendas y tipos de reformas. Lo que nos indica es que estas viviendas, caso de hacerse la reforma, la temperatura operativa sería superior a la del aire. El valor negativo nos indica lo que habría que bajar la calefacción para obtener una temperatura de confort. Esto pone de manifiesto la importancia de poder regular la calefacción de forma individual por vivienda. Como cabría esperar por el comportamiento térmico del edificio las viviendas más afectadas serían las más cálidas, tal y como se ha comentado al comienzo de este análisis.

	F	H	C	H+F	F+C	H+C	H+F+C
4DI				-0,07%			-0,31%
3DI	-0,13%	-0,24%		-0,63%	-0,14%	-0,26%	-0,81%
2DI	-0,34%	-0,45%		-0,83%	-0,36%	-0,47%	-1,01%
1DI	-0,38%	-0,44%	-0,11%	-0,81%	-0,49%	-0,55%	-1,11%
4DD	-0,23%	-0,32%		-0,74%	-0,24%	-0,33%	-0,88%
3DD	-0,33%	-0,41%		-0,83%	-0,36%	-0,44%	-0,98%
2DD	-0,17%	-0,20%		-0,64%	-0,32%	-0,32%	-0,89%
1DD		-0,05%		-0,15%			
2CD			-0,03%				
3BD				-0,45%			
1BD				-0,64%			

Figura 43. Mapa de viviendas con un aumento por encima de la Tª de confort.

6.3 Análisis medioambiental de las reformas.

Este análisis se ha restringido a las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía final durante la etapa de uso del edificio, no haciendo un análisis de ciclo de vida, ni considerando otros posibles indicadores ambientales.

El edificio actual emite 95,76 Tn de CO₂ al año y se podrían evitar hasta 48,51 Tn de emisiones de CO₂ al año.

El factor de paso aplicado para las emisiones de CO₂ es **311 gr /CO₂ · kWh_t**.

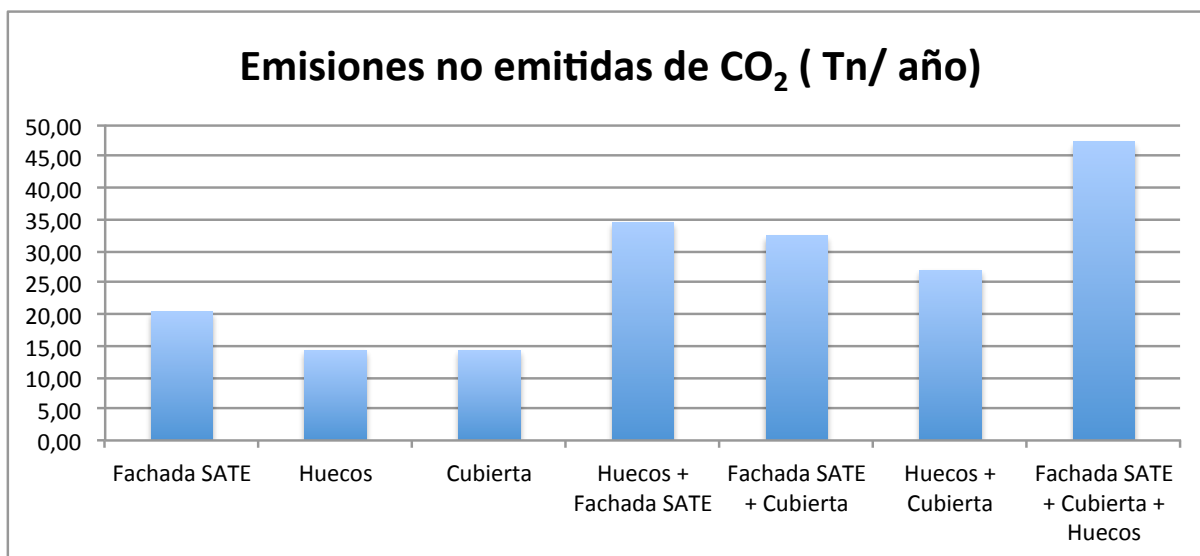


Figura 44. Gráfico de Tn de CO₂/ año no emitidas por el edificio.

7. Análisis comparativo con el transporte.

En este apartado vamos a realizar un estudio comparativo de lo que supondría, si el ahorro de energía del edificio, se pudiera utilizar para el transporte de las personas que viven en él.

Si el edificio hiciera la reforma completa de fachada SATE + Huecos + cubierta, se ahorrarían al año **155.970,369 kWh /año**. Suponiendo una ocupación de 216 personas (4 por vivienda) en todo en el edificio:

Ocupación por **coche**: 1,2 personas / km [20]

Energía por coche: 0,45 kWh/km [20]

Número coches= 216 persona / km · (1/ 1,2) km/persona = 180 Coches

Energía por coche= 155.970,36 kWh/año · (1/180 Coches) = 866 ,50 kWh/año · coche

Distancia diaria= 866,50 kWh/año · coche · (1 /0,45) km/kWh · (1/365) años/día = **5,27 km/día · coche**

Ocupación por **BUS**: 5,84 personas / km [20]

Energía por bus: 6,34 kwh/km [20]

Número de buses= 216 persona / km · (1/ 5,84) km/persona = 36,98 Autobuses

Energía por bus= 155.970,36 kWh/año · (1/36,98 autobuses) = 4.217,69 kWh/año · bus

Distancia diaria= 4.217,69 kW/año · bus(1 /6,34) km/kWh · (1/365) años/día = **1,83 km/día · bus**

Ocupación por **Tranvía** 17,44 personas / km[20]

Energía por tranvía: 5 kWh/km [20]

Número tranvías= 216 persona / km · (1/ 17,44) km/persona = 12,38 tranvías

Energía por tranvía= 155.970,36 kWh/año · (1/12,38 tranvías) = 12.598,57 kWh/año · tranvía

Distancia diaria= 12.598,57 kWh/año · bus(1 /5) km/kWh · (1/365) años/día = **6,9 km/día · tranvía**

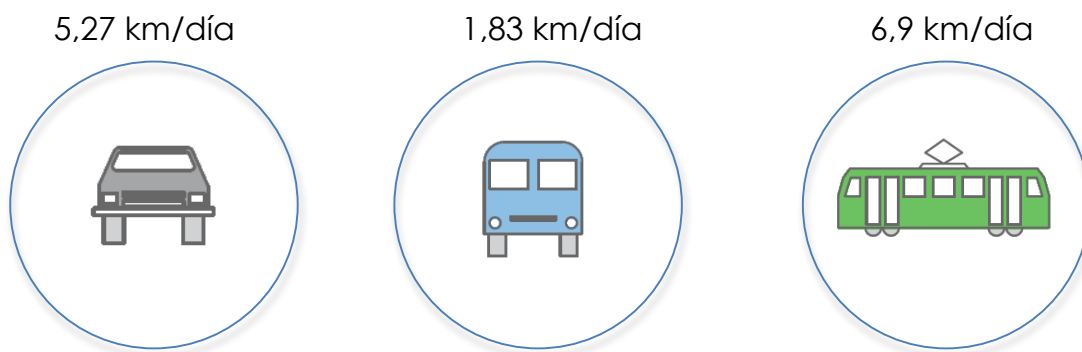


Figura 45. Comparativa de distancia recorrida por tipo de transporte.

En base a estos resultados se concluye que las distancias serían dentro del casco urbano. Para cada una de las distancias calculadas en cada caso, casi un 25% de usuarios utiliza su vehículo propio, un 31% utiliza el autobús y un 50% utiliza el tranvía. [20].

Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía), en ciudad, el 50% de los viajes en coche son de menos de 3 km y un 10% de menos de 500m.

8. Conclusiones.

La conclusiones que se derivan de este proyecto son:

1. La rehabilitación energética de edificios no afectan por igual a todas las viviendas como se ha comprobado en este estudio, sin embargo el coste repercutido por vivienda se suele realizar por superficie de vivienda cuando debería ser por beneficios obtenidos de la reforma.
2. Es posible alcanzar ahorros importantes de energía final, primaria, y emisiones con la puesta en marcha de mejoras que rehabilitan los edificios en términos de eficiencia energética. Estos ahorros para este edificio podrían llegar a ser del 50%
3. Las reformas de rehabilitación energética son reformas que exigen costes importantes pero pueden ser amortizados bien a 25 o 50 años incluso a menos tiempo.
4. La toma de decisiones a la hora de acometer una rehabilitación energética de un edificio debería estar respalda por proyectos de estas características para que éstas sean efectivas.
5. La decisión a tomar ante una rehabilitación energética, no debería ser estrictamente económica pues se ha comprobado que existen tres factores que se pueden tener en cuenta como son el **económico**, el **térmico** en cuanto al confort y el **medioambiental** en cuanto a las emisiones de CO₂.
6. En algunos casos hay reformas económicamente muy interesantes pero no son las mejores en términos de eficiencia térmica y medioambiental.
7. Es necesario ayudas para que las comunidades que deseen acometer estas reformas no tengan que valorar solamente el aspecto económico de la reforma, sino el medio ambiental y térmico en algunos casos.
8. Las reformas pueden afectar aumentado en exceso la cantidad de energía que recibe alguna de las viviendas por lo que se ve la necesidad de la regulación individual por vivienda para poder corregir estos desajustes.
9. La energía ahorrada en el edificio, caso de realizar la reforma completa, sería suficiente para satisfacer la demanda de energía para la mitad de los trayectos urbanos realizados por el 25% de usuarios que emplean su vehículo propio con respecto a otros medios de transporte cuando, el desplazamiento es menor de 5km.



Listado de anexos

- Anexo 1** Copia de **memoria del proyecto** para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- Anexo 2** Copia de **resumen de presupuesto** del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- Anexo 3** Copia de **presupuesto general** del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- Anexo 4** Copia de planos originales del proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín.
- Anexo 5** Hojas de datos catastrales.
- Anexo 6** Planos.
- Anexo 7** Cuadro de superficies.
- Anexo 8** Medición in-situ de la transmitancia de la pared.
- Anexo 9** Determinación de superficies, transmitancias y factor solar de huecos.
- Anexo 10** Determinación de los espesores óptimos de aislantes.
- Anexo 11** Determinación de los costes de las reformas.
- Anexo 12** Determinación de valores del VAN de las reformas.
- Anexo 13** Determinación de la desviación del modelo sin rehabilitar respecto al edificio real.
- Anexo 14** Determinación de la demanda y consumo límite.
- Anexo 15** Determinación de transmitancias de muros y forjados.
- Anexo 16** Artículo sobre rehabilitación de cubiertas.
- Anexo 17** Artículo sobre ETICS.
- Anexo 18** Artículo sobre insuflación de aislante en cámaras.
- Anexo 19** Catálogo carpinterías PVC.
- Anexo 20** Resultados de los modelos.

Listado de figuras

Figura 1: Situación del edificio.....	Pág. 06
Figura 2: Situación del bloque a estudio.....	Pág. 06
Figura 3: Viviendas de plantas 1º-5ª.....	Pág. 07
Figura 4: Viviendas de planta 6ª.....	Pág. 08
Figura 5: Viviendas de planta 7ª.....	Pág. 08
Figura 6: Viviendas de planta 8ª.....	Pág. 09
Figura 7: Muro de 200 mm en hueco de ventana.....	Pág. 09
Figura 8: Muro de 400 mm y capialzado del hueco.....	Pág. 10
Figura 9: Empaquetado del muro de 400mm.....	Pág. 10
Figura 10: Empaquetado del muro de 200mm.....	Pág. 10
Figura 11: Empaquetado del muro de 150 mm.....	Pág. 11
Figura 12: Empaquetado del muro de 100 mm.....	Pág. 11
Figura 13: Empaquetado del muro M5 de 250 mm.....	Pág. 12
Figura 14: Capas de los forjados de suelo.....	Pág. 12
Figura 15: Capas del suelo en contacto con el terreno.....	Pág. 13
Figura 16: Capas de cubierta en contacto con el aire.....	Pág. 13
Figura 17: Puerta de salida a terraza exterior.....	Pág. 14
Figura 18: Ventanal a patio Interior.....	Pág. 14
Figura 19: Puerta de ascensor y salida a cubierta exterior.....	Pág. 14
Figura 20: Caldera , radiador y válvula de 3 vías.....	Pág. 15
Figura 21: Modelo del edificio sin rehabilitar.....	Pág. 18
Figura 22: Capas de muro reformado con SATE.....	Pág. 20
Figura 23: Imagen de la reforma modelizada.....	Pág. 20
Figura 24: Capa del muro de 200mm reformado.....	Pág. 20
Figura 25: Imagen del relleno de la cámara.....	Pág. 21
Figura 26: Capas del muro de 200mm reformado con insuflación.....	Pág. 21
Figura 27: Capas del muro de 400mm reformado con insuflación.....	Pág. 21
Figura 28: Capa de la cubierta reformada.....	Pág. 22
Figura 29: Puertas practicables.....	Pág. 24
Figura 30: Ventanas correderas.....	Pág. 24
Figura 31: Gráfico resumen del coste de las inversiones.....	Pág. 26
Figura 32: Gráfico resumen del consumo de energía final.....	Pág. 28
Figura 33: Gráfico resumen del ahorro de energía final.....	Pág. 29
Figura 34: Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas A.....	Pág. 30
Figura 35: Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas D.....	Pág. 30
Figura 36: Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas B.....	Pág. 31
Figura 37: Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas C.....	Pág. 31
Figura 38: Desviación media de la Tª del aire respecto a la Tª operativa para las viviendas A,B,Cy D según fachada y medianeras.....	Pág. 31
Figura 39: Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª,7ª y 8ª por reforma de la cubierta.....	Pág. 32
Figura 40: Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª,7ª y 8ª por reforma de la fachada + cubierta.....	Pág. 33
Figura 41: Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª,7ª y 8ª por reforma de huecos + cubierta.....	Pág. 33
Figura 42: Mejora porcentual de confort en la viviendas de las plantas 6ª,7ª y 8ª por reforma de fachada + huecos + cubierta.....	Pág. 34
Figura 43: Mapa de viviendas con un aumento por encima de la Tª de confort.....	Pág. 34
Figura 44: Gráfico de Tn de CO ₂ / año no emitidas por el edificio.....	Pág. 35
Figura 45: Comparativa de distancia recorrida por tipo de transporte.....	Pág. 36



Lista de tablas:

Tabla 1. Cuadro resumen de los materiales del proyecto.....	Pág. 16
Tabla 2. Cuadro comparativo de transmitancias.	Pág. 17
Tabla 3. Materiales de la reforma del muro SATE.	Pág. 20
Tabla 4. Materiales de la reforma del muro insuflado.	Pág. 21
Tabla 5. Materiales de la reforma de la cubierta.	Pág. 22
Tabla 6. Cuadro resumen de transmitancias reformadas.	Pág. 25

Referencias bibliográficas:

- [1] "El fin del petróleo", Paul Roberts, Ediciones B, S.A. 2004,
- [2] "El efecto invernadero", John Gribbin, Ediciones Pirámide S.A. 1991.
- [3] Panel Intergubernamental para el cambio climático
http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- [4] Norma MV 101-1962 : "Acciones en la edificación" [Decreto 195/1963, de 17 de Enero de 1963]
- [5] Norma MV 102-1964 : "Acero laminado para estructuras de edificación" [Decreto 4433/1964, de 3 de Diciembre de 1964]
- [6] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO Núm. 219 Jueves 12 de septiembre de 2013 Sec. I. Pág. 67137 Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- [7] Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España.
<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.1127/id.67/reلمenu.11>
- [8] Plan de ayuda de rehabilitación de edificios. <http://www.fomento.gob.es/rehabilitacion/>
- [9] Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE) <http://www.idae.es/index.php/id.858/reلمenu.409/mod.pags/mem.detalle>
- [10] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [11] "Proyecto para edificio destinado a viviendas y locales comerciales, en la calle Nueva, s/n, barrio de Montemolín". 27 de enero de 1969.
- [12] "DesignBuilder. <http://www.designbuilder.co.uk>
- [13] "Energy/plus". <https://energyplus.net>.
- [14] Sede electrónica del catastro. <https://www1.sedecatastro.gob.es>
- [15] CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE. Redacción: Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar: Marzo 10. Borrador Archivo: CAT-EC- v6.3(MARZO10).doc.
- [16] Generador de precios de la construcción en España. CYPE Ingenieros, S.A.
<http://www.generadordeprecios.info>.
- [17] Jonatán Vicente Navarro "LA EVOLUCIÓN DE LOS FORJADOS DE EDIFICACIÓN HACIA UNAS TÉCNICAS MÁS COMPETITIVAS ECONÓMICAMENTE" proyecto final de carrera, Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona, Junio 2009.
- [18] © Knauf Insulation 2016. <http://www.knaufinsulation.es>.
- [19] GRUPO AYUSO S.A. 1998-2016.. <http://grupoayuso.org>.
- [20] Proyecto UrbiLCA Evaluación del impacto del Ciclo de Vida y mejora de la eficiencia energética en áreas urbanas. <http://www.urbilca-sudoe.eu>.



Otras bibliografías consultadas

"Transparencias curso 2009/2010 de construcciones industriales y servicios industriales"
TOMO I. Javier Domínguez, Enrique Cano, Beatriz Rodríguez Soria, José María Pérez Bella,
Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *"Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable"*. 3ª edición, revisada y actualizada: julio de 2011.

"Improving the Quality of Existing Urban Building Envelopes. Facades and roofs". Edited by:
Luís Braganca, Christian Wetzel, Vincent Buhagiar y Leo G W Werhoef.

Verónica Jiménez Díaz. Proyecto fin de grado *"Análisis comparativo de la demanda energética de un edificio en zonas climáticas distintas"* Universidad Politécnica de Valencia.