

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estudio de alternativas para rehabilitación
energética: Aplicación a manzana cerrada en Parque
Alcosa (Sevilla)

Autor: Gloria Georgina Jiménez Sánchez

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

Dep. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estudio de alternativas para rehabilitación energética: Aplicación a manzana cerrada en Parque Alcosa (Sevilla)

Autor:

Gloria Georgina Jiménez Sánchez

Tutor:

Servando Álvarez Domínguez

Profesor titular

Dep. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Estudio de alternativas para rehabilitación energética: Aplicación a manzana cerrada en
Parque Alcosa (Sevilla)

Autor: Gloria Georgina Jiménez Sánchez

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

*A todos mis compañeros de clase,
que me han acompañado en el
camino.*

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia todo el apoyo que me ha brindado durante estos años, imprescindible para seguir adelante cada curso.

A mi tutor Don Servando Álvarez Domínguez, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y aprender de él, ofreciéndome su ayuda y apoyo desde el principio.

A mis compañeros de clase, que me han acompañado durante esta etapa dándome lo mejor de cada uno. En especial a los que han compartido conmigo este último año, codo con codo: Emilio Maillo, Jorge Ordoñez, Antonio José Rodríguez, Fco. Javier Gomez, y por supuesto Cristina Vázquez, por darme su ayuda incondicional, además de quien merecería cien páginas de agradecimientos: Sacha Gomez, por demostrar ser una persona comprometida, honesta, paciente y generosa, por estar a mi lado durante la realización de este proyecto y por ayudarme en todo momento. Gracias por estar a mi lado. Gracias por vuestro apoyo.

A mis amigas, a las que siento a mi lado por muchos kilómetros que nos separen. El mundo no es lo suficientemente grande como para que estemos lejos.

A todos los profesores que me han enseñado y motivado para querer seguir aprendiendo. Y también a los que han sido exigentes, haciendo que me esfuerce y dé lo mejor de mí, realizándome y obteniendo finalmente muchas satisfacciones de esta etapa universitaria. En especial a Luis Pérez Lombard, que me motivó para elegir la especialidad de Ahorro y Eficiencia Energética, sin la que no habría sido capaz de realizar este proyecto. Los mejores educadores son los que inspiran a sus alumnos.

Finalmente, a todos aquellos que han formado parte de mi vida durante estos años. Hoy soy el conjunto de todas las cosas que me habéis aportado.

Gracias de corazón.

Gloria Georgina Jiménez Sánchez

Sevilla, 2016

Resumen

Este trabajo consiste en el estudio de alternativas para la rehabilitación energética de un distrito real: los 14 edificios que conforman la Plaza de Oriente, en Parque Alcosa, Sevilla.

Este trabajo se realiza en el contexto de un proyecto global que pretende convertir la Plaza de Oriente en un distrito de balance de energía neta igual a cero (que genera la misma cantidad de energía que consume). Por ello, se pretende reducir el consumo de energía para climatización para conseguir un bajo consumo de energía del distrito. La generación eléctrica en el distrito es de 548 MWh al año, con lo que el consumo de climatización debe quedar en torno a un 40% de ésta, es decir, 219.2 MWh al año, para que el balance neto nulo anual sea posible.

Sin embargo, este trabajo consigue aún más, reduciendo el consumo de climatización a 172.69 MWh al año, que supone un ahorro del 87.4%, gracias a una rehabilitación energética que logra una reducción de la demanda de aproximadamente el 69% en cada edificio y una sustitución de las instalaciones de climatización por otras de mayor eficiencia. La rehabilitación energética que se aplica al distrito es el resultado de un estudio de alternativas basado en el coste del ciclo de vida de diferentes alternativas, del que se concluye cuál es la óptima.

Por último, se estudia la influencia de la inclusión de una solución innovadora de fachada en los edificios del distrito, que supone ahorros energéticos de un 27% a un 43% del consumo en función de las características del elemento. Además se realiza un análisis de los posibles costes de este elemento de fachada innovador.

Abstract

This work is the study of alternatives for energy rehabilitation of a real district: the 14 buildings that make up the Plaza de Oriente, in Parque Alcosa, Sevilla.

This work is done in the context of a global project that aims to turn the Plaza de Oriente in a district net energy balance equal to zero (which generates the same amount of energy consumed). Therefore, it is intended to reduce energy consumption for air conditioning to achieve low power consumption of the district. Electricity generation in the district is 548 MWh per year, thereby cooling consumption should be around 40% of this, 219.2 MWh per year, so that the net annual zero balance possible.

However, this work gets even more by reducing consumption of air conditioning to 172.69 MWh per year, which represents a saving of 87.4 %, thanks to an energy rehabilitation achieves a reduction in demand of approximately 69 % in each building and a replacement of air conditioning systems by more efficient ones. Energy rehabilitation applied to the district is the result of a study of alternatives based on the life cycle cost of different alternatives, which concludes the optimal.

Finally, the influence of the inclusion of an innovative solution facade in district buildings is studied, which means energy savings of 27 % to 43 % of consumption depending on the characteristics of the innovative element. Moreover, the possible prices of this innovative element are studied.

Índice

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	15
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	18
Notación	21
1 Introducción	23
1.1 El consumo de energía en los edificios	24
1.2 Energías renovables en edificación	25
1.2.1 Energía solar térmica de baja temperatura	25
1.2.2 Sistemas solares pasivo (arquitectura pasiva)	25
1.2.3 Energía solar fotovoltaica	26
1.2.4 Otros recursos energéticos renovables	26
2 Objetivo del proyecto	28
3 Antecedentes	30
3.1 Situación social	30
3.1.1 Ingresos en los hogares	30
3.1.2 Pobreza energética	30
3.1.3 Relaciones vecinales	30
3.1.4 Predisposición para la rehabilitación de los inmuebles	30
3.1.5 Conclusión sobre la situación social	30
3.2 Situación inicial a nivel de edificio	31
3.2.1 Análisis de las condiciones constructivas	33
3.2.2 Problemas añadidos: degradación de la envuelta	34
3.2.3 Instalaciones de climatización	34
3.2.4 Síntesis de diagnóstico	34
3.2.4.1 Envejecimiento generalizado del parque de viviendas	34
3.2.4.2 Espacios intercomunitarios	34
3.2.4.3 Ineficiencia energética	34
4 Situación inicial de la demanda de energía	36
4.1 Características generales de las tres tipologías de edificio existentes en la Plaza de Oriente	37
4.2 Análisis de los parámetros característicos de la envolvente de los edificios en relación con la transferencia de energía	38
4.3 Cálculo de la demanda de energía	41
4.3.1 Cálculo de la demanda de energía mediante el método simplificado	42

4.3.1.1 Demanda de calefacción	42
4.3.1.2 Demanda de refrigeración	42
4.3.2 Cálculo de la demanda mediante el método detallado	42
4.3.2.1 Demanda de energía de los catorce edificios	44
5 Definición de alternativas para la reducción de la demanda	46
5.1 Estrategia de reducción de la demanda	46
5.2 Tácticas para la reducción de la demanda	47
5.3 Propuesta de alternativas de reducción de la demanda	48
6 Estudio del coste de ciclo de vida	50
7 Situación mejorada de la demanda de energía	54
7.1 Nuevos parámetros característicos	55
7.2 Cumplimentación de la reglamentación energética	56
7.3 Efecto de la rehabilitación en la demanda energética del distrito completo	56
8 Mejora de las instalaciones de climatización y reducción del consumo	59
8.1 Consumos de energía iniciales en el distrito	59
8.2 Reducción del consumo de energía	60
8.3 Efecto de la rehabilitación y reposición de equipos en el consumo de energía del distrito completo	60
9 Efecto de la rehabilitación en la calificación energética	62
10 Influencia de incluir una solución innovadora de fachada	65
10.1 Características de la celda de ensayo del elemento	66
10.2 Descripción de la caracterización experimental del comportamiento del elemento	67
10.3 Validación de los resultados experimentales y estudio de sensibilidad	67
10.4 Características de la inclusión del elemento activo en el edificio	68
10.5 Cálculo de la solución innovadora implantada en el edificio	70
10.6 Efecto en la demanda de la implantación de la solución innovadora de fachada en los diferentes casos	70
10.7 Estudio de costes de la solución innovadora de fachada	71
11 Conclusiones	74
12 Anexos	77
Referencias	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Descripción general de las características constructivas iniciales de los edificios	33
Tabla 4-1. Parámetros característicos iniciales: Transmitancias térmicas	38
Tabla 4-2. Valores de las transmitancias térmicas en comparación con los valores exigidos por la reglamentación	39
Tabla 4-3. Parámetros característicos iniciales: Otros parámetros relevantes	39
Tabla 5-1. Definición de alternativas para la reducción de la demanda	48
Tabla 7-1. Reducción de la demanda conseguida tras la mejora	54
Tabla 7-2. Parametros característicos tras la rehabilitación energética: Transmitancias	55
Tabla 7-3. Otros parámetros característicos tras la rehabilitación energética	55
Tabla 8-1. Reducción del consumo conseguido tras la mejora (edificio 5)	60
Tabla 10-1. Resultados del modelo de caracterización experimental de una solución innovadora de fachada, por Juan Daniel Sánchez Ortiz	68
Tabla 10-2. Área disponible en las orientaciones deseadas	68
Tabla 10-3. Efecto en la demanda de la implantación de la solución innovadora de fachada en los seis casos estudiados	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Consumo final por sectores en el Mundo	23
Figura 1-2. Consumo final por sectores en la UE-27	23
Figura 1-3. Consumo final por sectores en España	23
Figura 1-4. Consumo por servicios en el sector residencial y sector terciario	24
Figura 1-5. Sistema solar pasivo de ganancia indirecta	26
Figura 3-1. Parque Alcosa	31
Figura 3-2. Porcentaje de edificios en cada configuración	32
Figura 3-3. Tipologías 1, 2 y 3	32
Figura 3-4. Plaza de Oriente: Configuración manzana tipo “Plaza”	32
Figura 3-5. Esquema y características de la composición de la fachada exterior del edificio en su estado inicial	34
Figura 4-1. Tipología de bloque rectangular A (Bloque 4, Plaza de Oriente)	37
Figura 4-2. Tipología de bloque rectangular B (Bloque 1, Plaza de Oriente)	37
Figura 4-3. Tipología de bloque en H (Bloque 5, Plaza de Oriente)	38
Figura 4-4. Desglose de las pérdidas de calefacción	40
Figura 4-5. Desglose de las ganancias en refrigeración	40
Figura 4-6. Evolución de la temperatura interior en oscilación libre a lo largo del año	41
Figura 4-7. Distribución de la demanda de energía a lo largo del año	43
Figura 4-8. Demanda energética anual extraída de HULC para Bloque 5	43
Figura 4-9. Demanda de energía anual de cada bloque de la Plaza de Oriente (del 1 al 14), desglosada en calefacción y refrigeración	44
Figura 5-1. Diagrama de síntesis de la estrategia de reducción de la demanda	47
Figura 6-1. Análisis de alternativas de rehabilitación energética mediante el estudio del Coste del Ciclo de Vida	51
Figura 6-2. Análisis de las mejores alternativas mediante el estudio del Coste del Ciclo de Vida para obtener la opción óptima	54
Figura 7-1. Demanda de energía tras la rehabilitación del edificio objeto a lo largo del año	54
Figura 7-2. Desglose de pérdidas y ganancias en calefacción en la situación mejorada	56
Figura 7-3. Cumplimentación de la reglamentación energética HE1 con la demanda mejorada extraída de HULC	56
Figura 7-4. Comparación de las demandas antes y después de la rehabilitación energética en los 14 edificios	57
Figura 7-5. Comparación de la fachada exterior de los edificios del distrito en la situación inicial y mejorada	57

Figura 8-1. Consumo de energía anual de cada edificio	59
Figura 8-2. Comparación de los consumos antes y después de la rehabilitación energética de los 14 edificios	60
Figura 9-1. Certificación energética del bloque 5 en la situación inicial extraída de HULC	63
Figura 9-2. Certificación energética del bloque 5 tras la rehabilitación extraída de HULC	63
Figura 10-1. Funcionamiento de un muro trombe en régimen de calefacción	65
Figura 10-2. Celda de ensayo experimental del elemento	66
Figura 10-3. Situación del elemento innovador de fachada en el edificio 5 de la Plaza de Oriente rehabilitado, en fachadas SE y SO	69
Figura 10-4. Estudio del coste de ciclo de vida del elemento innovador	71
Figura 10-5. Estudio del coste de ciclo de vida del elemento innovador en detalle	72
Figura 11-1. Distrito Plaza de Oriente en el contexto del proyecto global NZED	75

Notación

As	Área solar
ASSE	Área solar sur equivalente
CCV	Coste del ciclo de vida
COP	Coefficiente de eficiencia energética de los equipos de climatización en modo calefacción
Cp	Coefficiente de calor específico del aire a presión constante
DC	Demanda de calefacción
DR	Demanda de refrigeración
EER	Coefficiente de eficiencia energética de los equipos de climatización en modo refrigeración
FI	Fuentes internas
FU	Factor de utilización
g	Factor solar
GD	Grados día
I _{sur}	Radiación solar incidente en una superficie orientada al sur
U	Transmitancia térmica o Coeficiente global de transferencia
α	Absortividad térmica
ρ	Densidad del aire

1 INTRODUCCIÓN

*Un camino de mil millas comienza con un paso.
- Benjamin Franklin -*

En la actualidad, parece existir una gran concienciación de la población sobre los graves problemas que provocan los altos consumos de energía, sin embargo, el consumo mundial de energía primaria sigue creciendo a un ritmo del 2% anual. Puede decirse que el consumo final de energía se concentra en tres grandes sectores: industria, transporte y edificación, suponiendo este último el 32.1 % del consumo de energía mundial, hasta un 40% del consumo de energía de la Unión Europea y un 30.7% del consumo de energía en España. Esto significa que la mayor parte de la energía que consumimos se consume en edificios.

Consumo Mundial de Energía Final (8677Mtep)

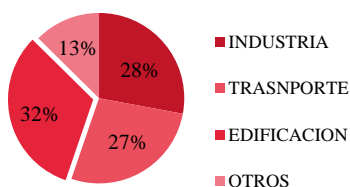


Figura 1-1. Consumo final por sectores en el Mundo. Fuente: IEA, 2010

Consumo en UE-27 de Energía final (1152 Mtep)

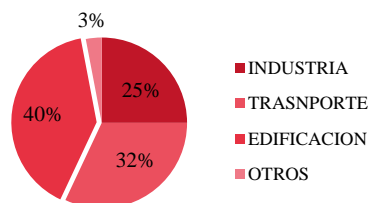


Figura 1-2. Consumo final por sectores en la UE-27. Fuente: Eurostat, 2010

Consumo en España de Energía Final

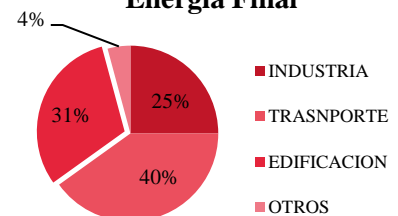


Figura 2-3. Consumo final por sectores en España. Fuente: Eurostat, 2012

Un grave problema (al que trágicamente nos enfrentamos en pleno siglo XXI) derivado de la alta necesidad energética de los edificios, es la pobreza energética. Actualmente en España, una de cada diez familias se encuentra en situación de pobreza energética, según un estudio de la Asociación de Ciencias Ambientales. Se dice que una familia sufre pobreza energética cuando sus ingresos no son suficientes para cubrir unas necesidades energéticas mínimas, tales como cocinar, tomar duchas de agua caliente o mantener su hogar a una temperatura adecuada, es decir, en confort térmico. El confort térmico a menudo suele relacionarse con un lujo en lugar de una necesidad, pero lo cierto es que ambientes demasiado calurosos o demasiado fríos traen consecuencias graves en la salud: Golpes de calor, desmayos, deshidratación en caso de altas temperaturas o hipotermia y congelación en caso de bajas temperaturas, que pueden incluso causar la muerte (produciéndose cuando la temperatura del cuerpo es inferior a 28°C, por fallo cardíaco). De hecho, un estudio de la Universidad British Columbia de Canadá afirma que cada año mueren más personas a consecuencia de la pobreza energética que como consecuencia de la Malaria, lo que pone de manifiesto la importancia de este problema a nivel global.

La pobreza energética debe combatirse directamente actuando sobre su causa: viviendas antiguas y de baja calidad constructiva que suponen la necesidad de altos consumos energéticos para poder alcanzar el confort térmico. El alto consumo de energía no solo es el causante de altas facturas que muchas familias no pueden pagar, sino que también provoca otros graves problemas como el agotamiento de los recursos energéticos limitados y las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático. Además, en países como España, supone una dependencia energética de otros países para cubrir unas altas necesidades energéticas de sus habitantes.

En relación con estos problemas, la Unión Europea ha fijado los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2020, entre los cuales se encuentran:

- *Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo*
- *Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos*
- *Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*
- *Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*
- *Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*

1.1 El consumo de energía en los edificios

En este contexto de ambiciosos objetivos, es necesario actuar urgentemente sobre la causa de los problemas que queremos combatir. Por ello es necesario conocer qué es el consumo de energía y qué factores influyen en él: Consumimos energía porque existe una demanda de la misma que cubrimos con una instalación energética que tiene un rendimiento o eficiencia energética. Así, el consumo será la demanda entre el rendimiento. Por ello si nuestro objetivo es reducir el consumo de energía, debemos atender a una reducción de la demanda y/o a un aumento de la eficiencia energética.

Los edificios demandan energía para cubrir distintos servicios: iluminación, cocina, electrodomésticos, agua caliente sanitaria, equipos, climatización y otros. El porcentaje de consumo que supone cada servicio es diferente en edificios residenciales y edificios terciarios pero, en España, ambos tipos destinan la mayor parte de la energía que consumen a la climatización (42 y 59% respectivamente). Por ello ponemos el foco en la demanda de energía para climatización, energía necesaria para mantener los edificios en condiciones de confort térmico. Ésta demanda de energía depende del clima en el que se encuentre el edificio en cuestión, las cargas internas al edificio (que suponen una fuente de calor), la epidermis o envolvente del edificio (calidades constructivas) y la temperatura a la que se quiera mantener el edificio (qué temperatura consideramos confort térmico, normalmente la banda comprendida entre los 20°C y 25°C). Entonces, el único factor influyente en la demanda energética sobre el que podemos actuar es la epidermis: la calidad constructiva del edificio en relación a la transferencia de energía a través de sus cerramientos (paredes, ventanas, suelos y cubierta), ya que es el factor clave en el intercambio energético entre el ambiente (demasiado caluroso o demasiado frío) y el interior del edificio que queremos mantener en confort térmico. Así, en función de las características del edificio en cuestión (situación geográfica, orientación, tipología...) podemos adaptar la epidermis a las necesidades energéticas del mismo para disminuir al mínimo su demanda de energía para obtener el confort térmico.

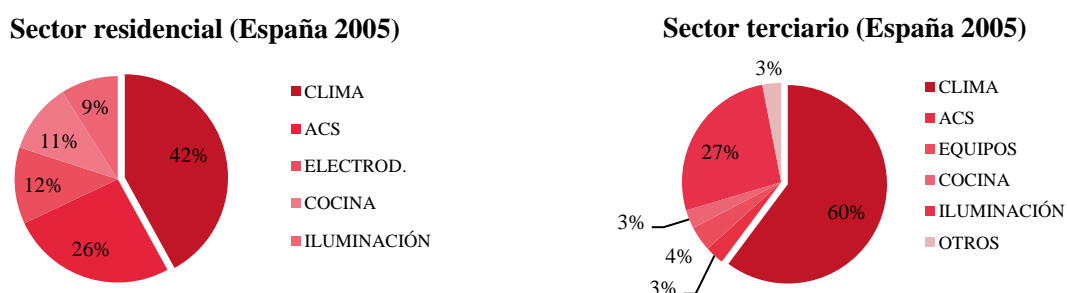


Figura 1-4. Consumo por servicios en el sector residencial y sector terciario. Fuente: Secretaría General de Energía

Por otro lado, bien es sabido que las instalaciones térmicas (o de cualquier otro tipo) más eficientes, suponen un ahorro energético. Sin embargo debido a su precio, al desconocimiento o a otras prioridades, es normal optar por equipos menos eficientes que, a la larga, consumirán mucha más energía, con todo lo que ello conlleva. A pesar de la importancia de la eficiencia energética, pocas veces es considerada una prioridad a la hora de elegir un equipo, sea un equipo acondicionador de aire o un automóvil. Aunque ciertamente, cada vez más se compran electrodomésticos altamente eficientes y se instalan lámparas de bajo consumo. Estamos en el camino correcto pero quedan muchos pasos que dar, por ello la eficiencia de las instalaciones térmicas para climatizar debe convertirse en una prioridad, ya que es un factor de gran importancia que tiene un gran potencial para conseguir grandes ahorros de energía.

Finalmente, cabe destacar la importancia del ahorro de energía (reducción del consumo) en términos de ahorro económico y reducción de emisiones. Toda reducción de consumo de energía final en kWh se traduce directamente en una reducción del gasto económico que supone esa energía, además de una reducción del consumo de energía primaria en kWh, lo que supone un paso hacia la sostenibilidad y al uso responsable de los recursos energéticos limitados de los que disponemos. Y por último pero no menos importante, una reducción del impacto ambiental que supone ese consumo de energía (en función de la fuente de energía que estemos empleando para dar el servicio), disminuyendo así las emisiones de CO₂ a la atmósfera, medidas habitualmente en kg o toneladas de CO₂. Todas estas conversiones que podemos hacer con 1 kWh de energía final consumida están estandarizadas, existiendo unos coeficientes de paso oficiales publicados por el Gobierno de España, por lo que podemos cuantificar exhaustivamente el impacto energético y ambiental de una reducción del consumo de energía.

1.2 Energías renovables en edificación

Una estrategia para combatir tanto el impacto ambiental como el consumo de recursos energéticos fósiles es el uso de energías renovables. Esta estrategia es aplicable a pequeña o gran escala, tanto en sectores industriales como en transporte y edificación. Concretamente, en el sector de la edificación ya se está apostando por el uso de energías renovables y un ejemplo de ello es que la normativa empieza a incluirlas: En el Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE-HE) del Código Técnico en la Edificación (Septiembre 2013) se incluye la obligatoriedad de una contribución solar mínima de ACS (HE 4) y una contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica (HE 5).

Así se avanza hacia un futuro sostenible y libre de CO₂ mediante la producción de energía limpia en el lugar de consumo: los edificios. Por ello cada vez más se aplican las energías renovables a la edificación, aprovechando los recursos renovables de la zona en la que se encuentre el edificio. Podemos encontrar diversas fuentes de energía renovables utilizadas en edificación:

1.2.1 Energía solar térmica de baja temperatura

Este tipo de sistema térmico de energía solar es aplicable a industria y edificación. Es un sistema activo, es decir, en el que un fluido de trabajo se mueve para transportar la energía. Este tipo de sistemas tiene muchos usos y aplicaciones, por ejemplo el secado, calefacción, refrigeración, climatización de piscinas o la producción de ACS (por debajo de los 100°C). La energía solar térmica de baja temperatura se diferencia de las de media y alta temperatura en que estas últimas utilizan sistemas de reflexión y concentración de la energía para alcanzar esas temperaturas mayores (media temperatura en la industria y alta temperatura en centrales termosolares).

1.2.2 Sistemas solares pasivos (arquitectura pasiva)

Los elementos solares pasivos en la edificación se clasifican en:

- Sistemas solares pasivos de ganancia directa: a través de cerramientos semitransparentes (ventanas), con los que se consiguen ganancias solares muy altas, aunque también altas pérdidas.

- Sistemas solares pasivos de ganancia indirecta: combinan las ventajas de cerramientos opacos (muros) y cerramientos semitransparentes, consiguiendo altas ganancias solares y bajas pérdidas. Estos sistemas se componen de elementos de doble envoltente: dispositivos de fachada que están formados por dos hojas separadas por una cámara de aire. Existen diversos tipos y combinaciones:
 - Paredes solares
 - Muros trombe
 - Muros parientodinámicos
 - Invernaderos adosados

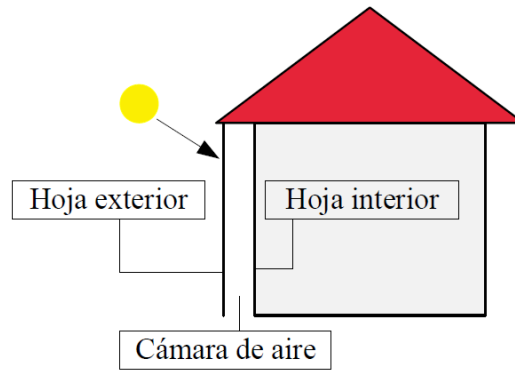


Figura 1-5. Sistema solar pasivo de ganancia indirecta. *Fuente: elaboración propia.*

- Sistemas de doble piel transparente-transparente
- Parámetros característicos de sistemas solares pasivos de ganancia indirecta

1.2.3 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se usa para generar electricidad a través de generadores fotovoltaicos (paneles conformados por células solares) además de otros equipos necesarios como pueden ser: una batería para almacenar energía eléctrica, un inversor para pasar la corriente continua generada a corriente alterna (consumo), o las protecciones que debe llevar la red. Existen diferentes formas de instalar una generación fotovoltaica y diferentes formas de conectarla a red, dependiendo de la normativa vigente de cada país en el que se instale.

La energía solar fotovoltaica es muy útil en edificación, ya que puede generar la electricidad que se demanda; especialmente en el sector terciario, donde además, las horas de mayor generación eléctrica (las horas de mayor captación de energía solar) coinciden con las horas de consumo de electricidad de estos edificios. En el sector residencial no coinciden las curvas de generación y demanda, por lo que al estar desacopladas se necesita del almacenamiento o de un tipo de conexión especial con la red eléctrica que permita exportar en horas de excedente de generación eléctrica e importar cuando se demanda más electricidad de la que genera la instalación fotovoltaica.

1.2.4 Otros recursos energéticos renovables

Cualquier fuente de energía presente en el emplazamiento del edificio es potencialmente aprovechable para cubrir los servicios que demanda. Son numerosos los recursos energéticos renovables que podemos aprovechar para generar energía eléctrica o energía térmica, por ejemplo el recurso eólico de la zona, o incluso energía marina o geotérmica.

2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Las grandes mentes tienen objetivos, las demás deseos.

- Washington Irving -

Este proyecto tiene como objetivo principal paliar el grave problema que supone la pobreza energética actuando directamente sobre su causa: la elevada demanda de energía de barrios humildes, debido a sus deficientes y antiguas calidades constructivas, que no les permiten siquiera alcanzar el confort térmico en las viviendas con los equipos de climatización de los que disponen.

Concretamente, el objetivo de este proyecto es reducir el consumo de energía de un distrito situado en un barrio real de Sevilla: Plaza de Oriente, Parque Alcosa, Sevilla. Para ello, se estudiarán alternativas para su rehabilitación energética completa, con lo que se quiere reducir su demanda de energía. Además, para conseguir una reducción drástica del consumo de energía, se evaluará el efecto de cambiar los equipos de climatización por otros de mayor eficiencia.

Este proyecto se realiza en el contexto de un proyecto global que pretende convertir la Plaza de Oriente en un distrito de balance de energía neta igual a cero. Por ello, se pretende reducir el consumo de energía para climatización (que supone el mayor porcentaje de consumo en el sector residencial) para conseguir un bajo consumo de energía total del distrito. Con esto se pretende que el consumo de energía pueda ser igual a la generación eléctrica que el proyecto global plantea con una instalación fotovoltaica. Esta generación eléctrica es de 548 MWh al año, con lo que el consumo de climatización debe quedar en torno a un 40% de ésta, es decir, 219.2 MWh al año, para que el balance neto nulo anual sea posible.

3 ANTECEDENTES

La formulación de un problema es más importante que su solución

- Albert Einstein -

En un barrio que se pretende rehabilitar completamente, es necesario realizar un análisis de su situación social en cuanto a la organización social, situación económica de las familias, sus necesidades y su predisposición a la hora de llevar a cabo proyectos de rehabilitación energética. Además, es necesario un análisis de la situación inicial de los edificios que conforman la plaza, conociendo así su calidad constructiva y los problemas que presentan, además de las instalaciones que incluyen.

3.1 Situación social

3.1.1 Ingresos en los hogares

El 56% de las familias dispone de unos ingresos por debajo de los 1.000 €, no superando en ningún caso el 44% restantes los 2.500 €. Además, el barrio presenta una considerable tasa de paro que sobrepasa marcadamente el límite de vulnerabilidad establecido en 1.5 veces la media estatal.

3.1.2 Pobreza energética

Un elevado porcentaje de los hogares presentan unas condiciones de confort térmico que no responden a los mínimos aceptables, manifestándose la incapacidad de las familias para afrontar los gastos derivados del consumo energético que revelan rasgos de pobreza energética.

3.1.3 Relaciones vecinales

El 96% de las familias declara que las relaciones en el vecindario son buenas o muy buenas. De hecho, el barrio está organizado y participa en diferentes asociaciones vecinales.

3.1.4 Predisposición para la rehabilitación de los inmuebles

El 42% de los hogares cree que la cantidad razonable a pagar mensualmente para la financiación de un proyecto de rehabilitación sería entre 20-40 € mensuales, un 17% cree que entre 40-60 € mensuales.

3.1.5 Conclusión sobre la situación social

El barrio Alcosa es un barrio con necesidades: existen numerosos factores que aconsejan una intervención integral de mejora en el mismo.

Sin embargo, también es un barrio con oportunidades: Se trata de un barrio con una marcada identidad social al presentar cierto aislamiento geográfico de la ciudad. Por otro lado, en Alcosa existe un considerable dinamismo asociativo en proporción a su población. Es un barrio organizado con gran predisposición a mejorar su calidad de vida a través de soluciones energéticas.

El hecho de que sea un barrio con necesidades es la característica que se repite en numerosos barrios de España y otros países. Y el hecho de que sea un barrio organizado brinda la oportunidad de realizar este proyecto energético y demostrar cómo con esta intervención se obtienen múltiples beneficios, creando así el efecto espejo, es decir, haciendo que otros barrios empiecen a organizarse con el fin de obtener esos mismos beneficios.

3.2 Situación inicial a nivel de edificio

El barrio Parque Alcosa se localiza en el noroeste del núcleo urbano de Sevilla, formado por un conjunto de 10.640 viviendas de promoción pública construidas durante los años 69-72 por el constructor valenciano Alfredo Corral.



Figura 3-1. Parque Alcosa. Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla. Grupo ADICI HUM-810*

La morfotipología de las viviendas se divide en tres tipos de configuraciones:

1. Bloques lineales cerrados en los testeros: “Los Martillos”. Primera fase: Principios de los 70
2. Bloques de diferentes alturas dispuestos en plazas. Segunda fase: Finales de los 70
3. Bloques de diferentes alturas dispuestos en plazas: Tercera y Cuarta fase: años 90-2010

Tipos de configuración

- Martillo
- Plazas '70
- Plazas Modernas

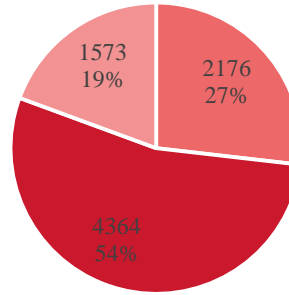


Figura 3-2. Porcentaje de edificios en cada configuración. Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla.* Grupo ADICI HUM-810



Figura 3-3. Tipologías 1, 2 y 3. Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla.* Grupo ADICI HUM-810

Dado que el 54% del barrio se compone de plazas de los años 70, este proyecto centra su estudio en una de ellas, la Plaza de Oriente, obteniendo resultados replicables al resto.

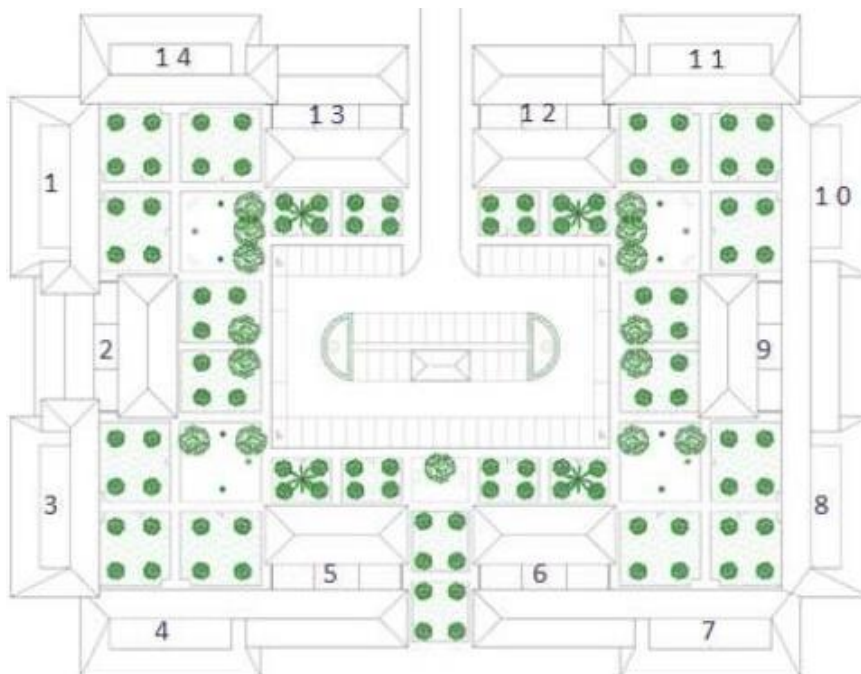


Figura 3-4. Plaza de Oriente: Configuración manzana tipo "Plaza". Fuente: Trabajo LAE 2011-2012. *Bloque de viviendas del Parque Alcosa.* C. Barroso, ML. Río, E. Rodríguez, C. Rubiales. Profesor: E. de Manuel

Las Plazas se conforman por un espacio delimitado por catorce bloques, de dos alturas diferentes (Baja+III, Baja+VII), quedando en su interior un espacio de unos 7000 m² formado por espacios verdes, plazas, aparcamientos y accesos.

Los planos de los edificios se detallan en el anexo 1, diferenciando entre bloques tipo 1 (rectangulares) y bloques tipo 2 (bloques en forma de H).

3.2.1 Análisis de las condiciones constructivas

Desde el punto de vista de la eficiencia energética la envolvente de los edificios se compone de un sistema muy precario: Bloques de hormigón de 20 cm de espesor, sin aislamiento ni cámara de aire, acabado con un mortero de cemento al exterior y un guarnecido de yeso al interior, que no proporciona aislamiento del entorno habitado, ni en invierno ni en verano; carpinterías de aluminio, con vidrios simples, cubiertas inclinadas sobre tabiquillos mal aisladas e impermeabilizadas.

De este modo, durante el período invernal, el calor se dispersa fácilmente hacia el exterior; mientras que en el periodo caluroso de verano, en el que se alcanzan los 40°C, los muros y ventanas no impiden que el aire caliente del exterior entre en la vivienda. Éstos repercuten directamente en unos elevados costes por las instalaciones de climatización y la exigencia de utilizarlos por largos períodos del año. A continuación se detallan las características constructivas de los edificios:

Tabla 3-1. Descripción general de las características constructivas iniciales de los edificios. *Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla. Grupo ADICI HUM-810*

Cimentación	La cimentación se resuelve mediante forjado sanitario y jácenas HA bajo muros de carga. Embrochando las jácenas se disponen vigas de atado de HA y en dicho encuentro zapatas y pozos de cimentación. El forjado sanitario permite una altura libre desde la cota del terreno de 80 cm aproximadamente. En algunos casos el forjado sanitario durante la ejecución del edificio se rellenó de escombros o terreno sobrante de la obra, esto ha provocado finalmente daños por humedad debido a la subida por capilaridad de agua desde el terreno.
Estructura	Los edificios se ejecutan mediante estructura de muros de carga de bloques de hormigón de 20 cm de espesor, forjados unidireccionales de viguetas pretensadas y nervios de borde perpendiculares a fachada en las medianeras y cerrando el núcleo de escaleras.
Escaleras	Las escaleras se resuelven mediante bóveda tabicada, escaleras a salta caballo apoyada sobre los muros de carga y sobre el brochal del vestíbulo de planta tipo. Se ejecuta mediante 2 gruesos de rasilla, sentada la primera con yeso y la 2ª con mortero de cemento, y peldaño de fábrica de ladrillo.
Cubierta	Cubierta inclinada de tabiques palomeros en los dos laterales de la H y cubierta plana andaluza en el núcleo de escaleras terminada con solería de 14x28 en espiga.
Acabados	Mortero de cemento en exteriores y guarnecido de yeso en interiores.
Pinturas	Pintura a la cal en patio interior y pintura con terminación a la tirolesa en exteriores.
Particiones	Las particiones interiores se componen de bloques de hormigón de 4 cm, mientras que las medianeras son del mismo material pero de 14 cm de espesor.
Fachadas	Las fachadas se resuelven con bloque de hormigón de 20cm. Los pretilos con fábrica de ladrillo visto de 14 cm en balcones.



Figura 3-5. Esquema y características de la composición de la fachada exterior del edificio en su estado inicial. Fuente: *Tranajo LAE 2011-2012. Plaza Collao. C. Barroso, ML. Río, E. Rodríguez, C. Rubiales. Prodesor: E. de Manuel.*

En el anexo 2 se exponen las características constructivas de cada cerramiento del edificio a un nivel más detallado (capa a capa de material), tal y como se introducirán en la Herramienta Unificada LIDER-CALENER para su simulación.

3.2.2 Problemas añadidos: degradación de la envuelta

Además de las pobres calidades constructivas propias de los años 70 de las que constan los edificios del barrio, existe humedad capilar en paramentos y muros de carga de zonas comunes y privativas de la planta baja. Además, hay grietas y fisuras en las cajas de escaleras de los edificios, que podría provocar el descalce de la zanca de escalera en las plantas superiores. Esto supone que partimos de construcciones en un estado defectuoso.

Por lo tanto, los edificios de Alcosa necesitan rehabilitación. Se pretende llevar a cabo la rehabilitación de los edificios con el objetivo no sólo de reparar los daños existentes sino de llevar los edificios a una situación energética mejorada.

3.2.3 Instalaciones de climatización

Para la climatización de los espacios, el 60% de las viviendas dispone de equipos de bombas de calor, cuyo uso se limita en la mayoría de los casos sólo para la refrigeración de la estancia principal de la vivienda en verano; utilizando durante el invierno braseros o radiadores eléctricos.

3.2.4 Síntesis de diagnóstico

3.2.4.1 Envejecimiento generalizado del parque de viviendas

Los edificios del Parque Alcosa, con más de 40 años de antigüedad, poseen una patología generalizada en los cimientos y estructuras de los edificios. La falta de aislamiento e incluso de cámara de aire, o cualquier otra necesidad de la envolvente del edificio se encuentran sin resolver en la actualidad en el 100% de los casos.

3.2.4.2 Espacios intercomunitarios

En el barrio tiene la necesidad de un rediseño del espacio urbano intercomunitario, en términos de distribución de usos, ya que cuentan con zonas comunes con gran potencial para ser aprovechadas por la comunidad.

3.2.4.3 Ineficiencia energética

La degradación física de los edificios existente y las deficientes condiciones constructivas con un sistema envolvente carente de aislamiento térmico, provocan una excesiva demanda de energía para mantener unas condiciones de confort adecuadas en el interior de las viviendas, que la mayoría de las familias no se pueden permitir, motivo por el que la mayoría de familias del barrio Parque Alcosa se encuentran en situación de pobreza energética.

4 SITUACIÓN INICIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

No sabemos lo que nos pasa y eso es precisamente lo que nos pasa.

- José Ortega y Gasset -

La demanda de energía térmica de un edificio es la cantidad de energía necesaria para mantener un local a una temperatura interior deseada durante un periodo de tiempo (normalmente un año). Su valor suele darse en kWh/m²año e incluye la demanda de calefacción y la de refrigeración. Para obtener una visión precisa de la situación energética de los edificios de la Plaza de Oriente, éstos se han simulado en la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), introduciendo sus características geométricas y constructivas, además de su relación con el entorno (sombras debidas a obstáculos remotos). Esta relación puede observarse en la cartografía catastral del barrio, incluida en el anexo 1.

Se han simulado los catorce edificios que conforman la plaza para obtener su demanda energética. Pero después se ha tomado un edificio en concreto para poder analizar en detalle sus parámetros característicos y todos los factores que influyen en su demanda de energía, con el fin de obtener un diagnóstico energético minucioso sobre el cual poder proponer mejoras y aplicar en éste y en el resto de edificios.

4.1 Características generales de las tres tipologías de edificio existentes en la Plaza de Oriente

Bloques rectangulares A:

Los edificios número 4, 7, 8 y 10 de la Plaza de Oriente tienen esta distribución. Constan de cuatro plantas, con cuatro viviendas por planta, haciendo un total de 1597 m² de superficie cada uno.

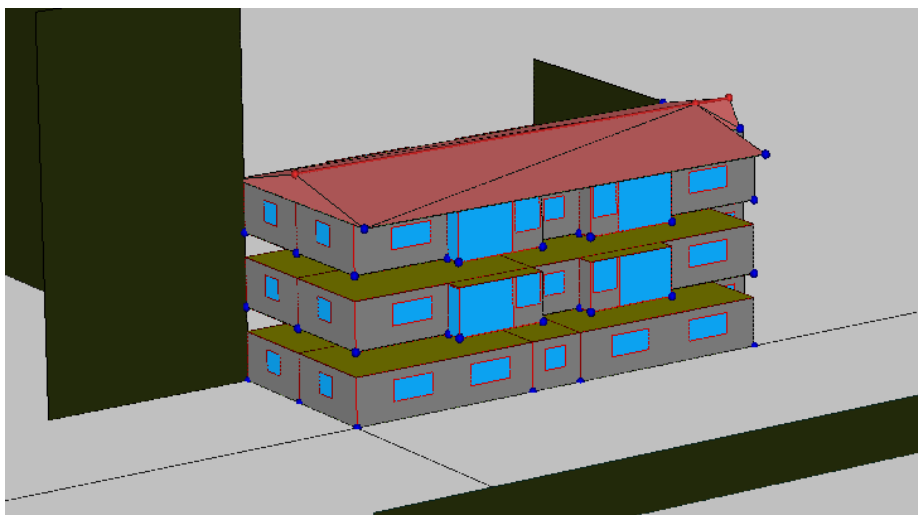


Figura 4-1. Tipología de bloque rectangular A (Bloque 4, Plaza de Oriente).
Fuente: Elaboración propia

Bloques rectangulares B:

Los edificios número 1, 3, 11 y 14 de la Plaza de Oriente siguen este modelo. Constan de ocho plantas, con cuatro viviendas por planta, haciendo un total de 3195 m² de superficie cada uno.

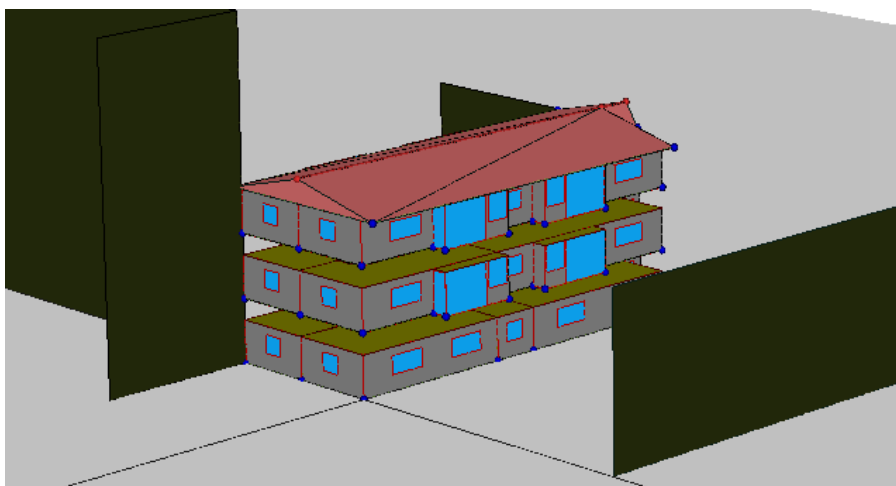


Figura 4-2. Tipología de bloque rectangular B (Bloque 1, Plaza de Oriente).
Fuente: Elaboración propia

Bloques en H:

Son los edificios número 2, 5, 6, 9, 12 y 13 de la Plaza de Oriente. Como vemos es la tipología que más se repite dentro de la Plaza, por lo que un edificio de este tipo será el escogido para analizar en profundidad. Estos edificios constan de cuatro plantas, con cuatro viviendas por planta, haciendo un total de 1597 m² de superficie cada uno.

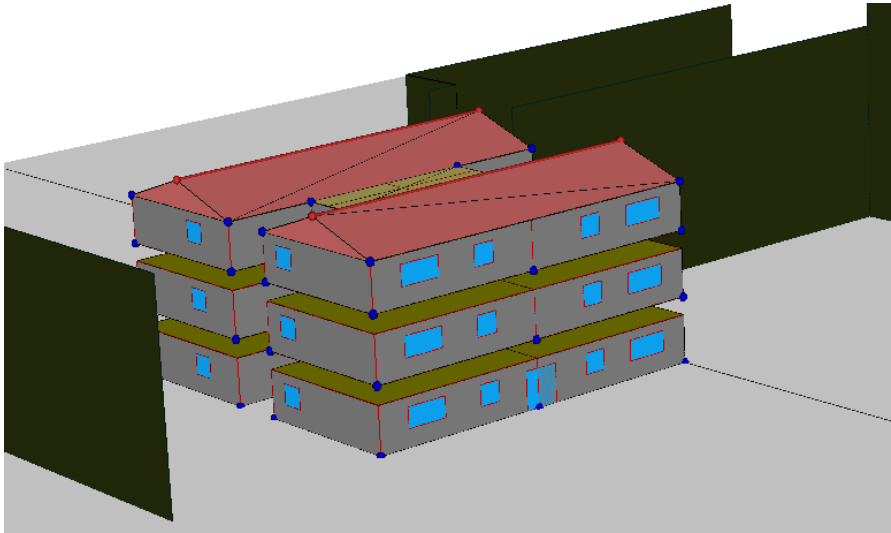


Figura 4-3. Tipología de bloque en H (Bloque 5, Plaza de Oriente). Fuente: *Elaboración propia.*

4.2 Análisis de los parámetros característicos de la envolvente de los edificios en relación con la transferencia de energía

Los edificios se caracterizan por las transmitancias de sus cerramientos, además de otros parámetros característicos que influyen en la demanda de energía.

Se han obtenido los parámetros característicos del edificio en H: Bloque 5, Plaza de Oriente. De aquí en adelante nuestro edificio objeto.

El análisis de estos parámetros se realiza mediante la comparación de los resultados obtenidos con los rangos típicos de los mismos a nivel de componentes y edificios.

Tabla 4-1. Parámetros característicos iniciales: Transmitancias térmicas.

U medio del edificio (W/m ² K)		
Rango	(0.4, 2.5)	
U medio	2.15	

U componentes (W/m ² K)		
Cerramiento	U resultado	U máximo
Cubierta	1.68	1
Muro exterior	2.09	0.65
Solera	2.62	0.65
Ventanas	5.7	4.2

Las deficientes calidades constructivas de estos edificios se corresponden con transmitancias muy altas, que superan los niveles exigidos por la reglamentación energética aplicable (CTE-DB-HE, 2013).

Tabla 4-2. Valores de las transmitancias térmicas en comparación con los valores exigidos por la reglamentación. Fuente: elaboración propia a través de los resultados de HULC y del DB-HE1

Transmitancia térmica, U (W/m ² K)			
Cerramiento	Edificios Alcosa	Valores de alta eficiencia	Valores exigidos
U muro exterior	2.09	0.27	1
U cubierta	1.68	0.21	0.65
U solera	2.62	0.32	0.65
U ventanas	5.7	2.10	4.2

Tabla 4-3. Parámetros característicos iniciales: Otros parámetros relevantes

Incremento de U medio debido a los puentes térmicos (W/m ² K)	
Rango	(20%, 60%)
Recomendable	< 40%
ΔU_{pt}	5.50%

Compacidad (m)	
Rango	(2, 4.5)
Compacidad	3.48

Relación ASSE/Aútil	
Rango recomendable en verano	(0.01, 0.05)
ASSE/Aútil verano	0.054
Valor normal invierno	< 0.2
ASSE/Aútil invierno	0.034

La compacidad es algo sobre lo que no podemos influir en edificios existentes, pero podemos comprobar que se encuentra en el rango normal de compacidades y que es alta, lo cual es beneficioso. Respecto al área solar sur equivalente en relación con el área útil del edificio, sólo se sale del rango recomendable el valor de verano, por lo que tampoco será un parámetro objetivo en nuestro estudio, en principio.

Sin embargo, las altas transmitancias térmicas sí serán nuestro objetivo, ya que se traducen en unas pérdidas a través de los cerramientos muy altas, que suponen el 79% de las pérdidas totales en calefacción. El resto de pérdidas se debe a la transmisión a través de los puentes térmicos (5%) y a las infiltraciones y exfiltraciones de aire (16%), que no suponen un porcentaje significativo en comparación con las primeras. Por ello, las propuestas de rehabilitación irán en la línea de mejorar la transmisión a través de los cerramientos y la permeabilidad de los huecos.

Contribución a las pérdidas

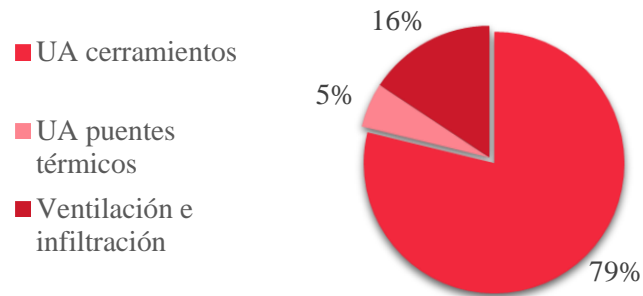


Figura 4-4. Desglose de las pérdidas de calefacción. Fuente: elaboración propia a través de los resultados de simulación en HULC

En el régimen de refrigeración, el término crítico es el de las ganancias. Éstas provienen de la radiación solar (69%) y de las fuentes internas del edificio (31%). En un clima como el de Sevilla (zona climática B4) las ganancias solares son importantes, efecto que se acentúa por la mala calidad de las ventanas. Sin embargo, las fuentes internas no son significativas en edificios residenciales. Por ello, para mejorar en refrigeración se contemplará el control solar como medida.

Contribución a las ganancias

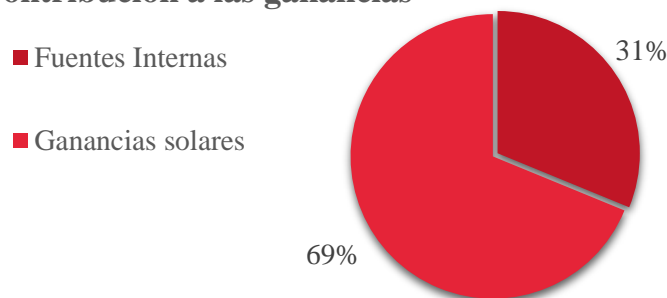


Figura 4-5. Desglose de las ganancias en refrigeración. Fuente: elaboración propia a través de los resultados de simulación en HULC

Los periodos de calefacción y refrigeración los determina la evolución de la temperatura interior al edificio a lo largo del año en oscilación libre, es decir, sin equipos de climatización. Se analiza esta evolución en superposición con la banda de confort, intervalo de temperaturas en el que se da la situación de confort térmico, es decir, en el que queremos que se sitúe la temperatura interior. Se define esta banda en los (20, 25) °C. Cuando la temperatura interior en oscilación libre se encuentra por debajo de los 20°C significa que el edificio demanda energía para aumentar su temperatura y nos encontramos en régimen de Calefacción. Por el contrario, cuando la temperatura interior en oscilación libre sobrepasa los 25°C, se demanda energía para disminuirla, por lo que nos encontraremos en régimen de refrigeración.

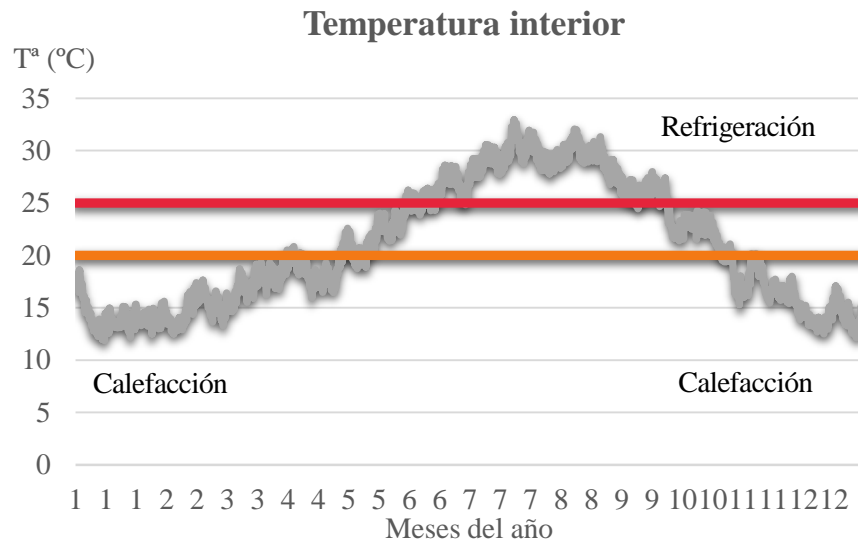


Figura 4-6. Evolución de la temperatura interior en oscilación libre a lo largo del año.
Fuente: elaboración propia a través de los resultados de simulación en HULC

En la figura 4-6 puede observarse el resultado en nuestro edificio objeto de la Plaza de Oriente: el periodo de calefacción comprende los meses de octubre a mayo y el periodo de refrigeración comprende los meses de junio a septiembre.

4.3 Cálculo de la demanda de energía

De la Herramienta Unificada LIDER-CALENER se obtienen resultados directamente en la interfaz de usuario como la demanda energética y la certificación. Pero este proyecto además extrae valores clave en el estudio de la situación energética de un edificio a través de los archivos .INP que genera la simulación del edificio en el programa.

El edificio simulado en HULC es el bloque 5 de la Plaza de Oriente, obteniendo resultados replicables al resto de edificios que conforman la manzana cerrada.

Para el análisis de la demanda de refrigeración se toma como referencia el mes de agosto y para la de calefacción el mes de febrero. Se toma febrero y no enero debido a que la simulación del edificio (durante un periodo de un año) empieza en enero, por lo que los resultados de este primer mes no son fiables, ya que para la herramienta no han existido otros meses antes.

En este proyecto no sólo se analiza la situación energética de partida de los edificios, sino que se proponen mejoras y se realiza un estudio del Coste del Ciclo de Vida (CCV) de cada una de ellas para así obtener la óptima. Para realizar este estudio es necesario calcular la demanda de energía de cada propuesta así como su CCV, por lo que el cálculo se realiza mediante un método simplificado con el que se puedan acoplar todas estas soluciones y obtener la óptima.

Por ello, para comparar los resultados de las demandas mejoradas (método simplificado) con la demanda inicial obtenida mediante HULC (método detallado), es necesario obtener unos factores que corrijan el método simplificado. Esta comparación es la necesaria para calcular el ahorro de energía que supone cada mejora.

Para obtener los factores correctores se calcula la demanda de energía de la situación inicial mediante los dos métodos y se comparan. Los valores de estos factores pueden observarse en el anexo 3.

4.3.1 Cálculo de la demanda mediante el método simplificado

El método simplificado consiste en el cálculo mediante las ecuaciones de demanda de calefacción y refrigeración que se detallan a continuación. En el método simplificado se calculan las demandas en febrero y agosto y, después, se puede obtener la demanda en el resto de meses del año conociendo la relación entre las demandas de febrero y el resto de meses de calefacción, y agosto y el resto de meses de refrigeración, relación que se conoce gracias al método detallado (simulación en la herramienta), que ofrece los resultados de la demanda para cada mes del año.

4.3.1.1 Demanda de calefacción (DC)

$$DC \text{ (Febrero)} = \text{Pérdidas} - \text{Ganancias} = 12156.68 \text{ kWh} \quad (4-1)$$

$$\text{Pérdidas (kWh)} = (U_{\text{Acerramientos}} + U_{\text{Apt}} + U_{\text{Aventilación}}) \cdot GD \cdot 24/1000 = 13262.8 \text{ kWh} \quad (4-2)$$

$U_{\text{Acerramientos}}$ = Pérdidas de calor a través de los cerramientos

U_{Apt} = Pérdidas de calor a través de los puentes térmicos

$U_{\text{Aventilación}}$ = Pérdidas debidas a las infiltraciones/exfiltraciones indeseadas de aire

$$\text{Ganancias (kWh)} = (I_{\text{sur}} \cdot ASSE + FI \cdot t \cdot 24 \cdot A) \cdot FU = 1106.12 \text{ kWh} \quad (4-3)$$

$(I_{\text{sur}} \cdot ASSE)$ = Ganancias debidas a la radiación solar que penetra en el edificio a través de sus cerramientos semitransparentes (huecos)

$(FI \cdot t \cdot 24 \cdot A)$ = Ganancias debido a las fuentes internas del edificio, siendo t el número de días del mes y A la superficie del edificio

FU = factor de utilización del edificio (cómo de bien usa el edificio esas ganancias en calefacción)

Por tanto, pasando la demanda de febrero al resto de meses en su proporción (que podrá observarse en la figura 4-7), la demanda de calefacción total por el método simplificado es:

$$DC \text{ total} = DC \text{ febrero (kWh)} \cdot 5.254341 = 63875.34 \text{ kWh} \rightarrow DC \text{ total} = 39.98 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$$

4.3.1.2 Demanda de refrigeración (DR)

$$DR \text{ (Agosto)} = \text{Ganancias} - \text{Pérdidas} = 7534.52 \text{ kWh} \quad (4-4)$$

$$\text{Ganancias (kWh)} = (I_{\text{sur}} \cdot ASSE + FI \cdot t \cdot 24 \cdot A) = 10740.82 \text{ kWh} \quad (4-5)$$

$$\text{Pérdidas (kWh)} = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot ACH_{\text{noche}} \cdot GD_{\text{noche}} \cdot \varepsilon \cdot FU = 3206.299 \text{ kWh} \quad (4-6)$$

Pérdidas = Pérdidas debidas a la ventilación nocturna (debido a las infiltraciones/exfiltraciones que se producen durante la noche, cuando la temperatura exterior es favorable). Estas pérdidas se calculan exclusivamente mediante el método detallado.

La demanda de refrigeración calculada mediante el método detallado toma un valor de:

$$DR \text{ total} = DC \text{ agosto (kWh)} \cdot 2.5455 = 19179.12 \text{ kWh} \rightarrow DR \text{ total} = 12.01 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$$

4.3.2 Cálculo de la demanda mediante el método detallado

El método detallado consiste en la simulación en HULC, de la que se obtienen los siguientes resultados de demanda de energía del edificio objeto (bloque 5) mes a mes:

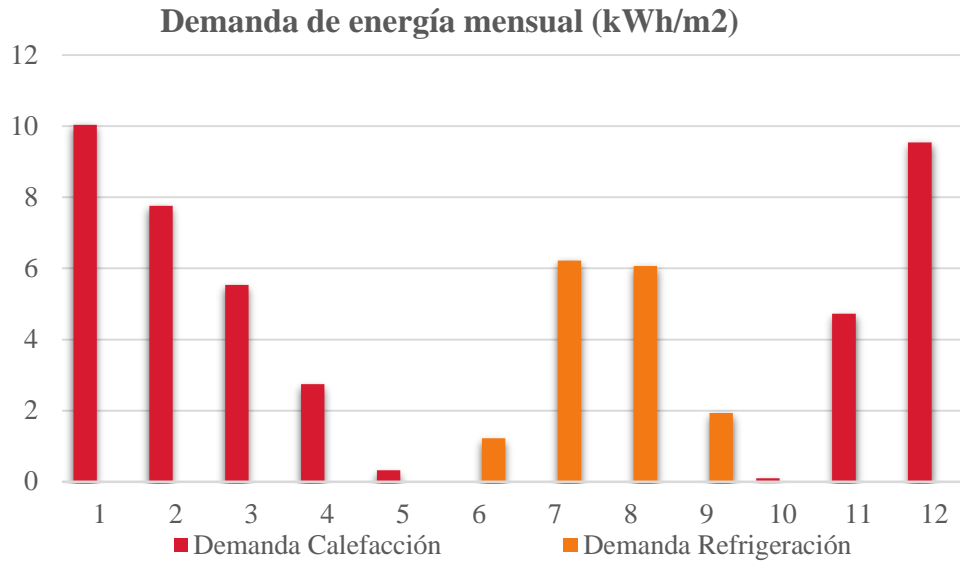


Figura 4-7. Distribución de la demanda de energía a lo largo del año. Fuente: elaboración propia a través de los resultados de simulación en HULC

La demanda de energía se distribuye de manera desigual a lo largo del año, debido a que en cada mes se necesita una cantidad de energía diferente para llevar la temperatura interior del edificio hasta la banda de confort.

La herramienta muestra la demanda de energía del edificio en su interfaz como la demanda de calefacción y de refrigeración del edificio objeto comparadas con un edificio de referencia para así comprobar que se cumplen los límites de demanda que fija la reglamentación energética (HE-1). En este caso, el edificio objeto no cumple el límite de la demanda de calefacción, que se sitúa por encima del doble de la demanda límite. Sin embargo en el caso de la refrigeración sí cumple la reglamentación energética, aunque no todos los edificios del distrito lo hacen.

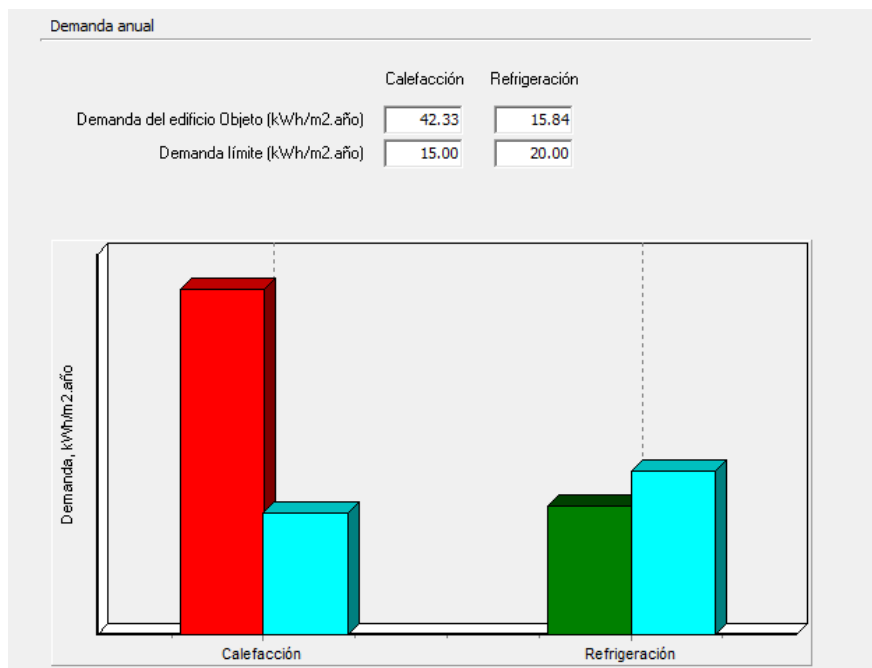


Figura 4-8. Demanda energética anual extraída de HULC para Bloque 5

4.3.2.1 Demanda de energía de los catorce edificios del distrito

Los catorce edificios se han introducido en HULC para obtener, como del edificio 5, su demanda de energía (tanto de calefacción como de refrigeración). Los resultados se han agrupado en la siguiente gráfica, en la que podemos ver las similitudes entre los diferentes edificios:

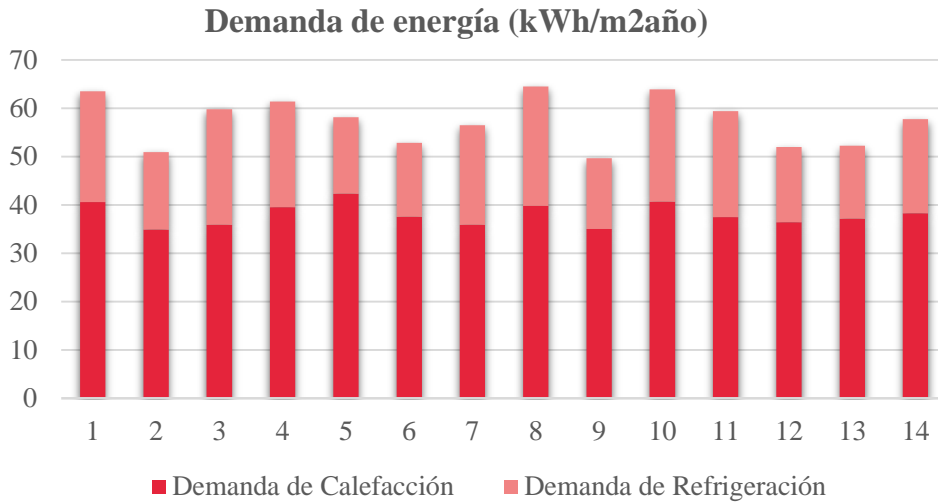


Figura 4-9. Demanda de energía anual de cada bloque de la Plaza de Oriente (del 1 al 14), desglosada en calefacción y refrigeración. *Fuente: elaboración propia a través de los resultados de simulación en HULC*

En la figura 4-9 puede observarse cómo los catorce edificios tienen una demanda de energía similar por m² de superficie. Esto se debe a que son edificios con iguales características constructivas e igual uso (residencial), situados en la misma manzana cerrada. Por tanto, las variaciones en sus demandas se deben a la orientación de los mismos y su relación con el entorno (sombras remotas).

Comprobamos por tanto que el edificio 5 es una buena representación del resto. Por ello, diseñaremos y calcularemos las mejoras para su demanda, que luego se aplicarán al resto de edificios en la misma proporción siguiendo el perfil que se observa en la figura 4-9.

5 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA

Si tuviera ocho horas para talar un árbol, dedicaría seis a afilar el hacha

- Abraham Lincoln -

En este apartado se proponen las diferentes alternativas para la reducción de la demanda de energía de climatización, que corresponden con alternativas de rehabilitación energética o mejora de la envuelta de los edificios del distrito, atendiendo a sus necesidades. Una vez definidas las alternativas se podrá calcular mediante el método simplificado la demanda de energía resultante en cada caso, corrigiéndolas mediante los factores correctores para comparar cada una de ellas con la situación de partida, calculando así el ahorro potencial de aplicar cada una de las medidas y cuál es su coste de ciclo de vida.

5.1 Estrategia de reducción de la demanda

Una rehabilitación del edificio tendrá efecto sobre la demanda de calefacción y sobre la de refrigeración, por lo que se debe formular una estrategia que consiga reducir ambas.

Para reducir la demanda de calefacción necesitamos fijarnos en su ecuación (4-1) y así vemos que se pueden hacer dos cosas: reducir las pérdidas de calor o aumentar las ganancias. Pero la segunda opción significaría aumentar las ganancias solares a través de los huecos, lo cual es muy perjudicial en refrigeración, por lo que no se contempla esta solución.

Por tanto, lo que se debe hacer en calefacción es reducir las pérdidas. Puesto que los puentes térmicos de los edificios objeto del estudio suponen tan solo un 5% de las pérdidas de calefacción (figura 4-4), la estrategia será disminuir la transmisión a través de los cerramientos (disminuyendo sus transmitancias) y disminuir las pérdidas por ventilación (mejorando la permeabilidad de los huecos).

En refrigeración podemos observar nuevamente su ecuación (4-4) y vemos que necesitamos disminuir las ganancias y aumentar las pérdidas para reducir la demanda de refrigeración, al contrario que en calefacción. Por tanto, uno de los objetivos será disminuir las ganancias solares, por lo que se propone como mejora la inclusión de control solar.

Además, se incluye una estrategia de ventilación nocturna que aproveche la temperatura exterior durante la noche para refrigerar el edificio aumentando las pérdidas de refrigeración.

Por último, este proyecto incluirá una solución innovadora de fachada en la que se añadirá un elemento activo a la fachada que, en régimen de calefacción, aumente las ganancias solares y reduzca las pérdidas, reduciendo así la demanda de calefacción. Sin embargo, esta opción no se incluirá en la batería de alternativas a estudiar según su coste de ciclo de vida, ya que al ser un elemento innovador, no están definidos aún sus costes de inversión, por lo que no se puede comparar con las demás alternativas de mejora. Este elemento se incluirá al final, tras conocer la alternativa óptima de las propuestas en este apartado. Y será objeto de este proyecto el estimar el coste de inversión adecuado a esta solución.



Figura 5-1. Diagrama de síntesis de la estrategia de reducción de la demanda. Fuente: elaboración propia.

5.2 Tácticas para la reducción de la demanda

Las posibles mejoras se entrelazan en 36 casos, combinando distintas medidas de calefacción y refrigeración. Concretamente se superponen las siguientes mejoras:

Transmitancias de los cerramientos:

Se calculan cuatro casos: valores iniciales, valores exigidos, valores recomendados, y valores de alta eficiencia. Estas mejoras irán conectadas con la mejora de la permeabilidad de los huecos, puesto que ambas suponen una reforma de las ventanas. En relación con la permeabilidad se estudiarán tres valores diferentes: una alta (que corresponde con la actual), una media y una baja (óptima).

Control solar:

Para la medida de incluir un control solar en las ventanas se contemplan las opciones de poner lamas o toldos en las orientaciones SE y SO para disminuir el factor solar (g) de los huecos, y así las ganancias solares. Los toldos son más baratos y reducen el factor solar al 50%, mientras que las lamas son más caras y pueden conseguir factores solares de hasta 0.3. La opción de las lamas no es común en el sector residencial y comprobaremos que además, es una medida excesiva en este caso concreto.

Ventilación nocturna:

Se estudian diferentes alternativas: Las pérdidas nocturnas variarán en función de las renovaciones/hora que se impongan.

Sin embargo, algunas de las mejoras orientadas a la refrigeración son excesivas, (algunas de ventilación nocturna y otras de lamas) haciendo que en meses de verano se necesite calefacción, por lo que se eliminan esos casos quedando 16 para el estudio del CCV.

5.3 Propuesta de alternativas de reducción de la demanda

Las alternativas de refrigeración van desde la R0 a la R5 (añadiendo otras combinaciones de ventilación nocturna) y las alternativas de calefacción de la C0 a la C3. Todas ellas se combinarán entre sí.

Tabla 5-1. Definición de alternativas para la reducción de la demanda. *Fuente: elaboración propia*

Refrigeración	Control solar	Ventilación nocturna
R0	No	No
R1	Toldos	No
R2	No	Si, 10 ren/h
R3	Toldos	Si, 10 ren/h
R4	Lamas	No
R5	Lamas	Si, 10 ren/h
R2-5	No	Si, 5 ren/h
R3-5	Toldos	Si, 5 ren/h
R2-7	No	Si, 7 ren/h

Calefacción	Transmitancias	Permeabilidad Ventanas
C0	Inicial	Alta
C1	Mínimo	Alta
C2	Recomendado	Media
C3	Óptimo	Baja

Las diferentes alternativas se refieren concretamente a los siguientes valores:

- **Toldos:** en las orientaciones SE y SO, reducen el factor solar de las ventanas hasta un 50% de la inicial.
- **Lamas:** en las orientaciones SE y SO, reducen el factor solar de las ventanas hasta llegar a 0.33.
- **Ventilación nocturna:** 10, 7 ó 5 renovaciones hora durante la noche.
- **Transmitancias:** los valores referidos en la tabla 4-2.
- **Permeabilidad de las ventanas:** 9 (baja), 27 (media) o 50 (alta) m³/hm² a 100Pa.

6 ESTUDIO DEL COSTE DE CICLO DE VIDA

Despacito y buena letra, que el hacer las cosas bien importa más que el hacerlas.

- Antonio Machado -

El coste de ciclo de vida (CCV) de un edificio es el coste total que supone el edificio, durante toda su vida desde que se construye hasta que se demuele. En este caso el estudio se hace para la vida útil del edificio considerando que es de 30 años. El estudio del coste de ciclo de vida que se pretende realizar consiste en volcar sobre una gráfica diferentes puntos que corresponden con diferentes alternativas para la rehabilitación energética para la reducción de la demanda. En el eje x de esta gráfica se mostrará la demanda de energía total (calefacción y refrigeración) de las diferentes opciones, y en el eje y se mostrará el coste de ciclo de vida de cada una de ellas, dando lugar a una dispersión de puntos en los que podemos ver todas las combinaciones. Así, elegiremos como alternativa óptima la que presente una mayor reducción de la demanda con el menor coste de ciclo de vida.

El CCV tiene en cuenta los costes de instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones de climatización de los edificios (en la situación de partida), además del coste que supone cada mejora en términos de reforma de la envuelta; todo para un ciclo de vida de 30 años. Si la vida de algún componente fuese menor que la vida útil del edificio, habrá que tener en cuenta su reposición y el valor del dinero en ese momento. En este caso los equipos de climatización tienen una vida útil de 15 años, lo que supone tener en cuenta dos inversiones en total en la vida útil del edificio.

Dentro de los costes de operación se encuentran los costes de los consumos energéticos de los sistemas de acondicionamiento durante toda la vida del edificio. Para obtener un resultado real, el cálculo deberá tener en cuenta la variación del precio de la energía, la inflación y la tasa de interés.

Debido a la incertidumbre de las fluctuaciones en los precios de los combustibles, se supondrá un valor constante de los mismos.

En resumen, el CCV es la suma de costes correspondientes a:

- **Reforma de la envuelta:**
 - Costes de la reforma de la envuelta en sí (reforma de los cerramientos y reposición de ventanas).
 - Coste de los mecanismos de control solar (toldos en este caso).
 - Coste de la inclusión de mecanismos para la ventilación nocturna.

• **Equipos de climatización:**

- Coste de inversión de los equipos (y reposición a los 15 años).
- Coste de mantenimiento de los equipos durante 30 años (calculado como un 4% de la inversión), con una tasa actual del 3% ($i = 3\%$).
- Coste de operación durante 30 años ($n = 30$), teniendo en cuenta el precio de la energía (eléctrica en este caso), con una tasa actual del 3%.

$$CCV = Inversión\ equipos + Mantenimiento + Operación \left(\frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n} \right) + Coste\ reforma \quad (6-1)$$

$$Operación\ de\ equipos = \frac{DC\ total}{COP} \cdot Precio\ cble + \frac{DR\ total}{EER} \cdot Precio\ cble \quad (6-2)$$

El estudio de CCV para escoger la mejora óptima se realiza en base a la comparación de alternativas de mejora de la envuelta y con los equipos de climatización que tienen los edificios del distrito en la situación de partida. La demanda de energía de cada alternativa se calcula por el método simplificado y se corrige con los factores correctores (anexo3). El cálculo de estas demandas y del CCV de cada una se detalla en el anexo 4.

Estudio del Coste del Ciclo de Vida para 30 años

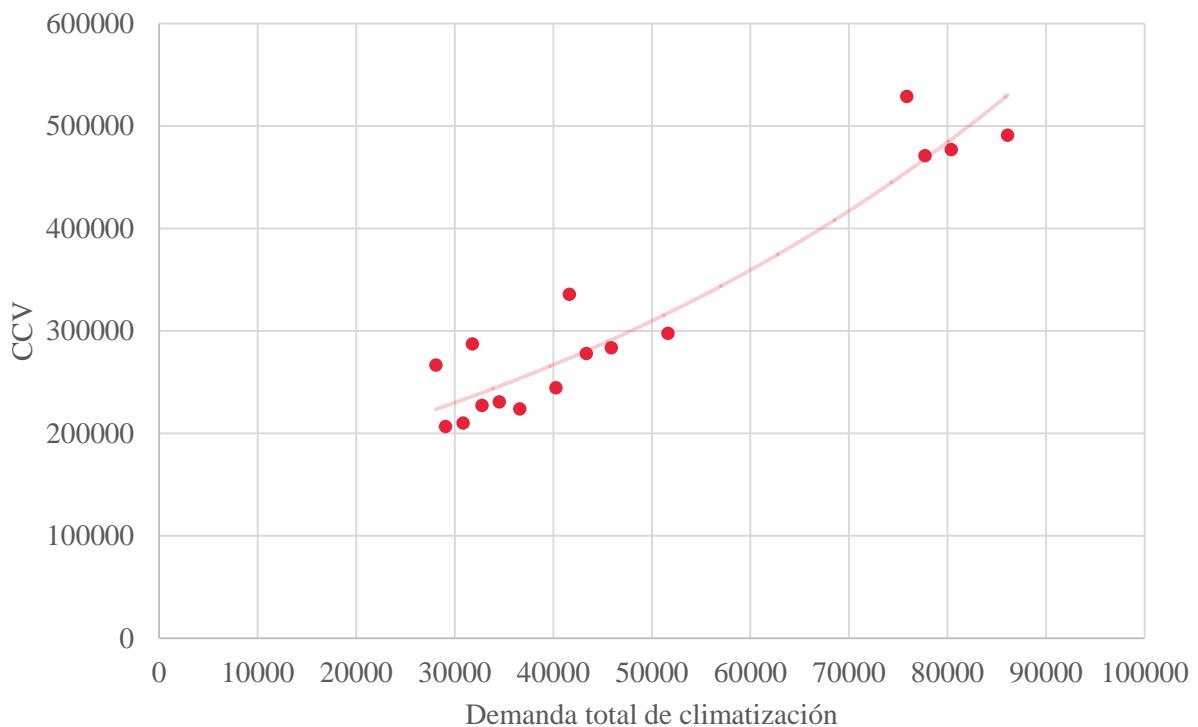


Figura 6-1. Análisis de alternativas de rehabilitación energética mediante el estudio del Coste del Ciclo de Vida. Fuente: elaboración propia

En la dispersión de puntos puede observarse cómo van avanzando según la línea de tendencia hacia una demanda de energía menor y hacia menores costes del ciclo de vida, que es el extremo de la gráfica en el que se sitúa la opción óptima (extremo inferior izquierda).

En la figura 6-1 se observa que hay cuatro puntos que se separan marcadamente del resto, teniendo una demanda alta y un alto coste. Estos puntos corresponden con las combinaciones de mejoras en refrigeración y calefacción: R0-C0, R1-C0, R2-5-C0 y R4-C0. Lo que significa que estos puntos lejos de la situación óptima son los casos en los que no se actúa sobre la calefacción. Esto se debe a que la demanda de calefacción era mucho mayor en estos edificios que la de refrigeración (como se mostraba en la figura 4-8), debido a sus pobres características constructivas. Por ello, aunque se actúe en refrigeración, hasta que no actuemos contra la demanda de calefacción no obtendremos un ahorro significativo.

Sin embargo, a pesar de que la demanda de calefacción sea mayor, también es necesario actuar sobre refrigeración, ya que una vez adoptemos las medidas para reducir la demanda de calefacción (disminuir sus pérdidas a través de un aumento de aislamiento), la refrigeración podría verse afectada negativamente.

Llegados a este punto, para saber cuál es la mejora óptima, ampliaremos la gráfica para analizar las mejores alternativas.

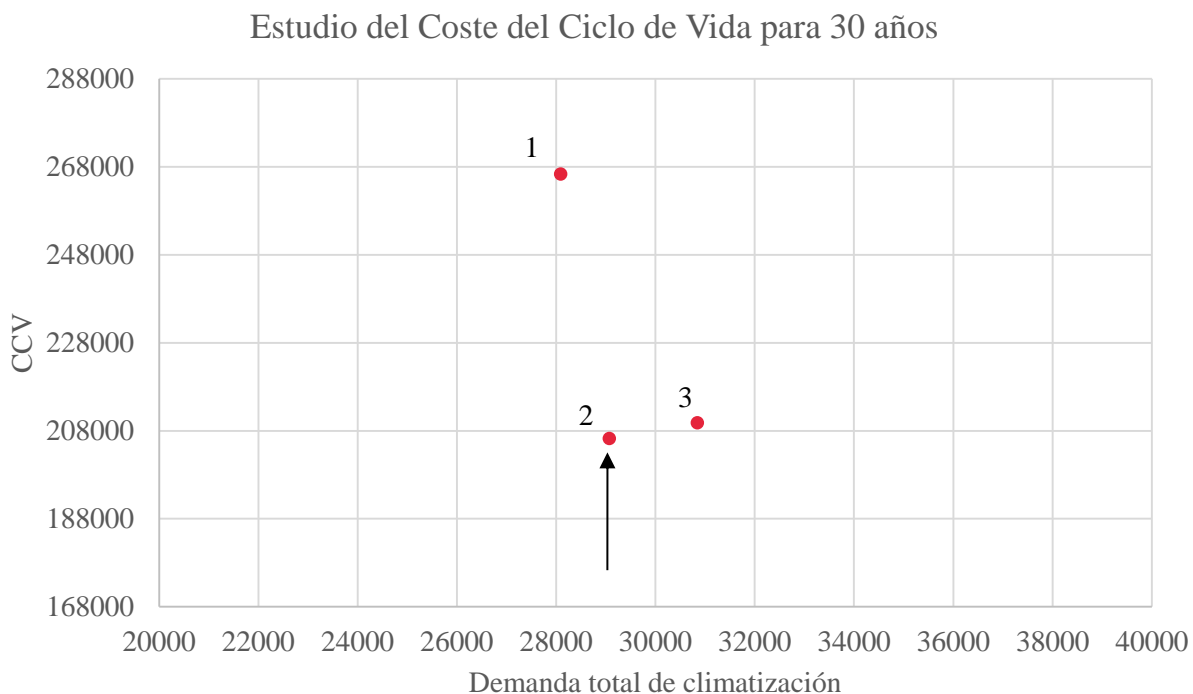


Figura 6-2. Análisis de las mejores alternativas mediante el estudio del Coste del Ciclo de Vida para obtener la opción óptima. Fuente: elaboración propia

En la figura 6-2 se muestran las tres alternativas de menor demanda de energía. Las alternativas 2 y 3 tienen parecidos costes de ciclo de vida, por lo que entre ellas elegiríamos la opción 2, ya que supone una menor demanda y un coste algo menor. Las alternativas 1 y 2 suponen una demanda parecida, siendo la de la 1 algo menor, pero para pasar de la 2 a la 1 y conseguir esa pequeña reducción de la demanda habría que asumir un coste del ciclo de vida mucho mayor, por lo que la situación óptima es la alternativa número 2.

Esta alternativa corresponde con la combinación R1-C3, que si recordamos la tabla 5-1, significa una mejora de la refrigeración a través de la colocación de toldos y sin ventilación nocturna, y una mejora de la calefacción con transmitancias óptimas y permeabilidad de las ventanas baja.

7 SITUACIÓN MEJORADA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo

- Albert Einstein -

El motivo de llevar a cabo esta rehabilitación energética es conseguir una reducción de la demanda de energía. El efecto consigue la alternativa óptima de rehabilitación es llevar una demanda de 58.17 kWh/m²año de un edificio a una demanda de 18.20 kWh/m² año (con una demanda de calefacción de 7.90 kWh/m²año y una demanda de refrigeración de 10.30 kWh/m²año). Esto significa que hemos pasado de un edificio que ni siquiera cumplía la reglamentación energética y demandaba una alta cantidad de energía, a edificios cercanos a ser considerados passive house.

Tabla 7-1. Reducción de la demanda conseguida tras la mejora. *Fuente: elaboración propia*

MEJORA DE LA DEMANDA			
kWh/m ² año	INICIAL	MEJORADA	% REDUCCIÓN
CALEFACCIÓN	42.33	7.90	81.34
REFRIGERACIÓN	15.84	10.30	34.98
TOTAL	58.17	18.20	68.72

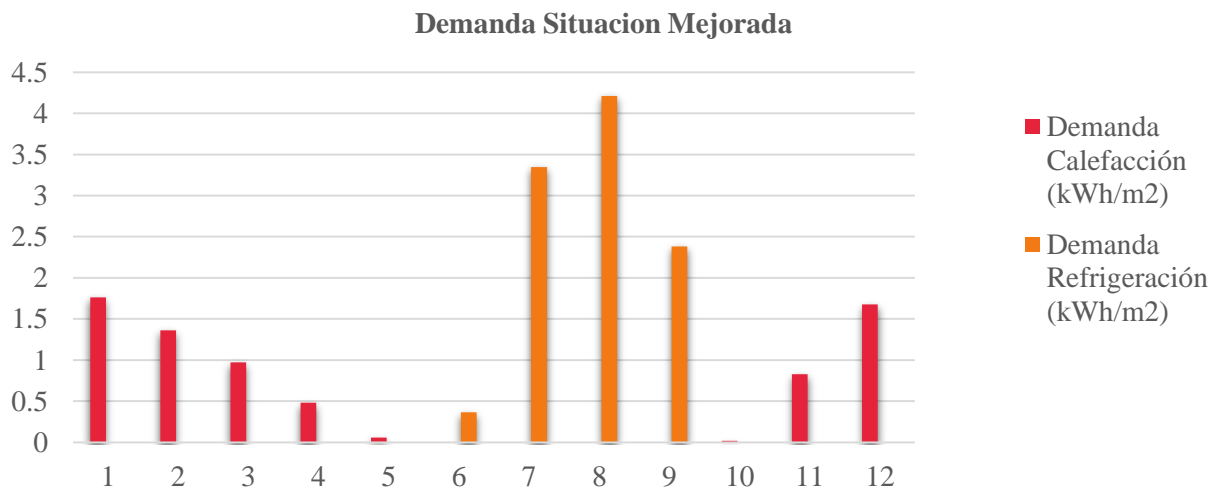


Figura 7-1. Demanda de energía tras la rehabilitación del edificio objeto a lo largo del año. *Fuente: elaboración propia*

7.1 Nuevos parámetros característicos

Tabla 7-2. Parámetros característicos tras la rehabilitación energética: Transmitancias.
Fuente: elaboración propia

U medio del edificio (W/m ² K)	
Rango	(0.4, 2.5)
U medio	0.38

U componentes (W/m ² K)		
Cerramiento	U resultado	U máximo
Cubierta	0.21	1
Muro exterior	0.26	0.65
Solera	0.33	0.65
Ventanas	2.13	4.2

Tabla 7-3. Otros parámetros característicos tras la rehabilitación energética.
Fuente: elaboración propia

Incremento de U medio debido a los puentes térmicos (W/m ² K)	
Rango	(20%, 60%)
Recomendable	< 40%
ΔU_{pt}	17%

Compacidad (m)	
Rango	(2, 4.5)
Compacidad	3.48

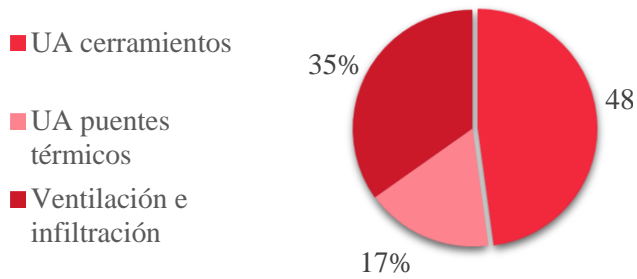
Relación ASSE/Aútil	
Rango recomendable en verano	(0.01, 0.05)
ASSE/Aútil verano	0.043
Valor normal invierno	< 0.2
ASSE/Aútil invierno	0.029

Los parámetros característicos que antes estaban fuera de rango, ahora toman valores favorables, quedando todos dentro de los rangos recomendables.

La situación final de los cerramientos de los edificios puede observarse en detalle en el anexo 5.

Por otra parte, la demanda de calefacción, que era tan alta en la situación de partida, ha mejorado considerablemente, reduciéndose más de un 80%. Esto se ha conseguido gracias a reducir las pérdidas a través de los cerramientos y a aumentar las ganancias solares. Esto supone una nueva distribución de porcentajes de pérdidas y ganancias de calefacción, que pueden observarse en la figura 7-2. Cabe señalar que los puentes térmicos, que ahora contribuyen en un 17%, no necesitan ser rehabilitados ya que no supera el 40% de las pérdidas.

Contribución a las pérdidas



Contribución a las ganancias

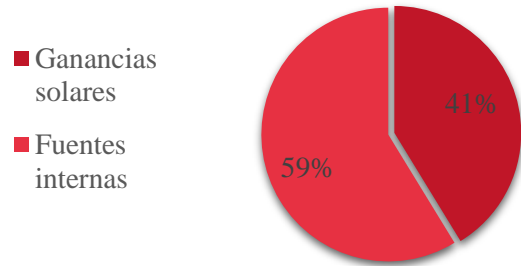


Figura 7-2. Desglose de pérdidas y ganancias en calefacción en la situación mejorada. Fuente: elaboración propia

7.2 Cumplimentación de la reglamentación energética

Llegados a este punto, se vuelve a introducir el edificio en la herramienta HULC para comprobar si con las medidas adoptadas nuestro edificio cumple la reglamentación energética. La conclusión es que con esta gran reducción de las demandas de calefacción y refrigeración se consigue cumplir la reglamentación energética, ya que en la situación mejorada los edificios tienen una demanda de energía por debajo de los límites requeridos por la HE1, como puede observarse en la figura 7-3.

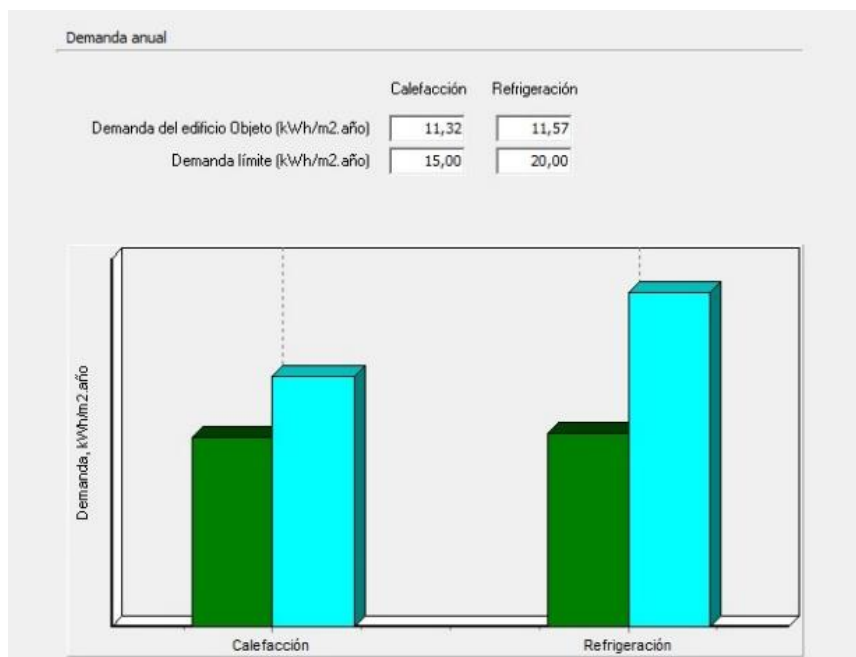


Figura 7-3. Cumplimentación de la reglamentación energética HE1 con la demanda mejorada extraída de HULC

7.3 Efecto de la rehabilitación en la demanda energética del distrito completo

El ahorro de energía logrado (del 68.72%) calculado para el bloque 5 de la Plaza de Oriente se aplica al resto de edificios que conforman la manzana cerrada, que pasan a tener una demanda de climatización mucho menor que en la precaria situación inicial, como puede observarse en la figura 7-4.

Demandas en situación inicial y mejorada (kWh/m²año)

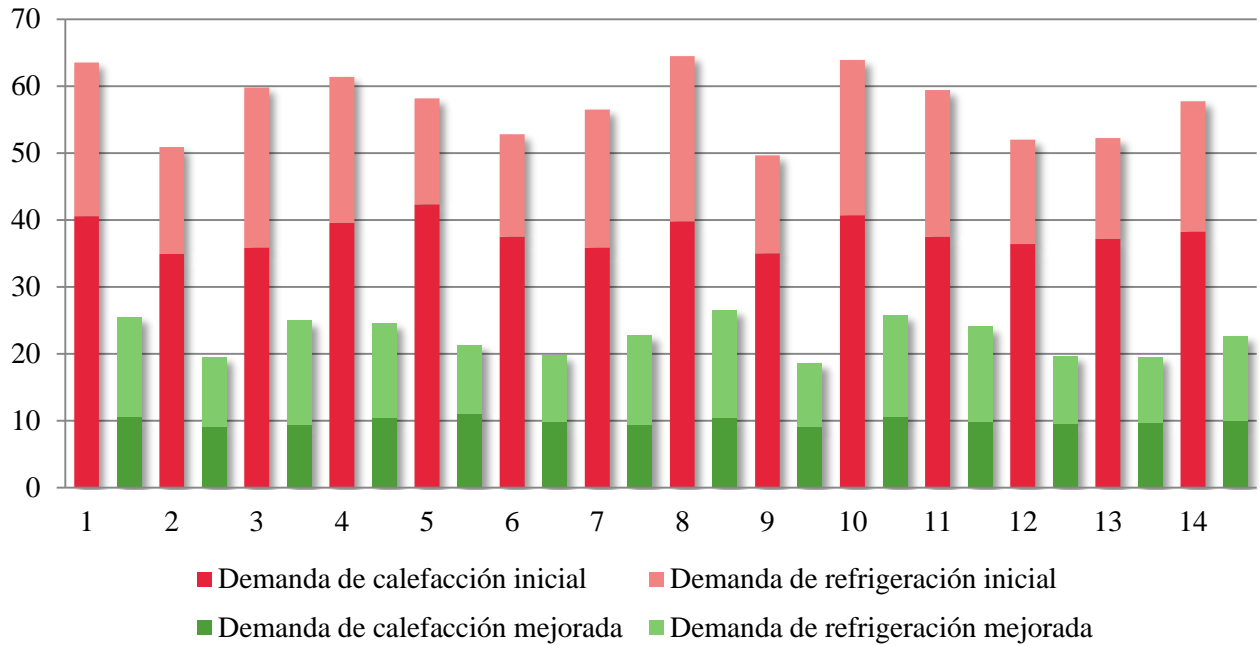


Figura 7-4. Comparación de las demandas antes y después de la rehabilitación energética en los 14 edificios.
Fuente: elaboración propia



Figura 7-5. Comparación de la fachada exterior de los edificios del distrito en la situación inicial y mejorada.
Fuente: Edgar Gomez Romero

8 MEJORA DE LAS INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO

El mayor ahorro es no consumir.

- Luis Pérez Lombard -

La nueva demanda de energía de los edificios se cubrirá con unos mejores equipos de climatización, es decir, de mayor rendimiento. Las instalaciones de climatización que se encuentran en la situación de partida en los edificios del barrio son radiadores eléctricos para cubrir la demanda de calefacción con un COP de 1, y equipos del tipo Bomba de Calor con EER igual a 2 para cubrir la demanda de refrigeración. Estos antiguos equipos se reemplazarán por otros de alta eficiencia, del tipo Bomba de Calor, con un COP de 3.6 para calefacción y un EER de 3.2 para refrigeración. La importancia de esta reposición radica en que, junto con una reducción importante de la demanda, consigue una gran reducción del consumo de climatización, alcanzando ahorros de energía mucho mayores que si se actuara exclusivamente en la envuelta del edificio.

8.1 Consumos de energía iniciales en el distrito

En el consumo de energía en la situación de partida, la calefacción tiene un peso mucho mayor, debido a su menor rendimiento. El perfil que siguen los catorce edificios es el mismo que en la demanda de energía.

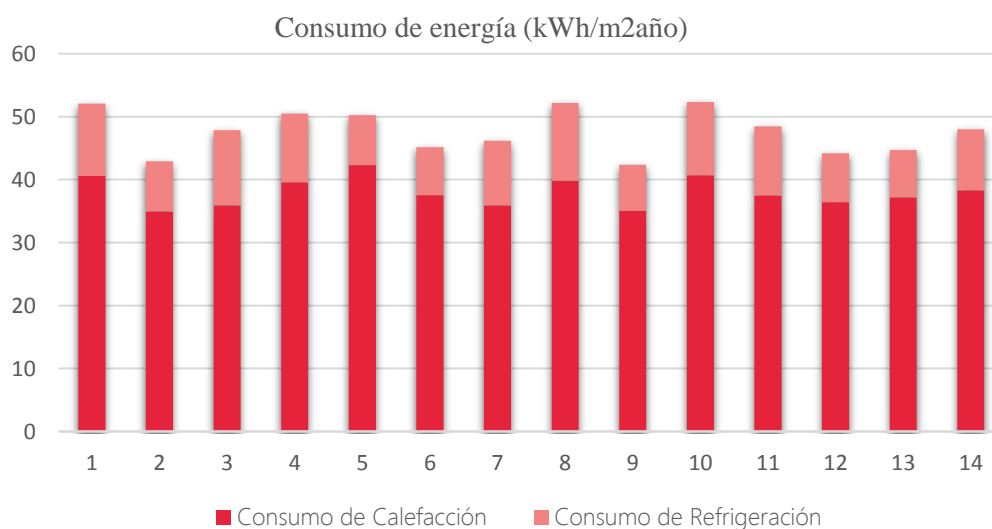


Figura 8-1. Consumo de energía anual de cada edificio. Fuente: elaboración propia

8.2 Reducción del consumo de energía

Tabla 8-1. Reducción del consumo conseguido tras la mejora (edificio 5).

Fuente: elaboración propia

MEJORA DEL CONSUMO			
kWh/m2año	INICIAL	MEJORADO	% REDUCCIÓN
CALEFACCIÓN	42.33	2.19	94.82
REFRIGERACIÓN	7.92	3.22	59.37
TOTAL	50.25	5.41	89.23

Con los nuevos rendimientos aplicados a la demanda ya mejorada, se obtienen unos consumos realmente bajos, consiguiendo una reducción del consumo de energía de casi el 90%. Este porcentaje de ahorro se aplicará al resto de edificios.

8.3 Efecto de la rehabilitación y reposición de equipos en el consumo de energía del distrito completo

Consumos en situación inicial y mejorada (kWh/m2año)

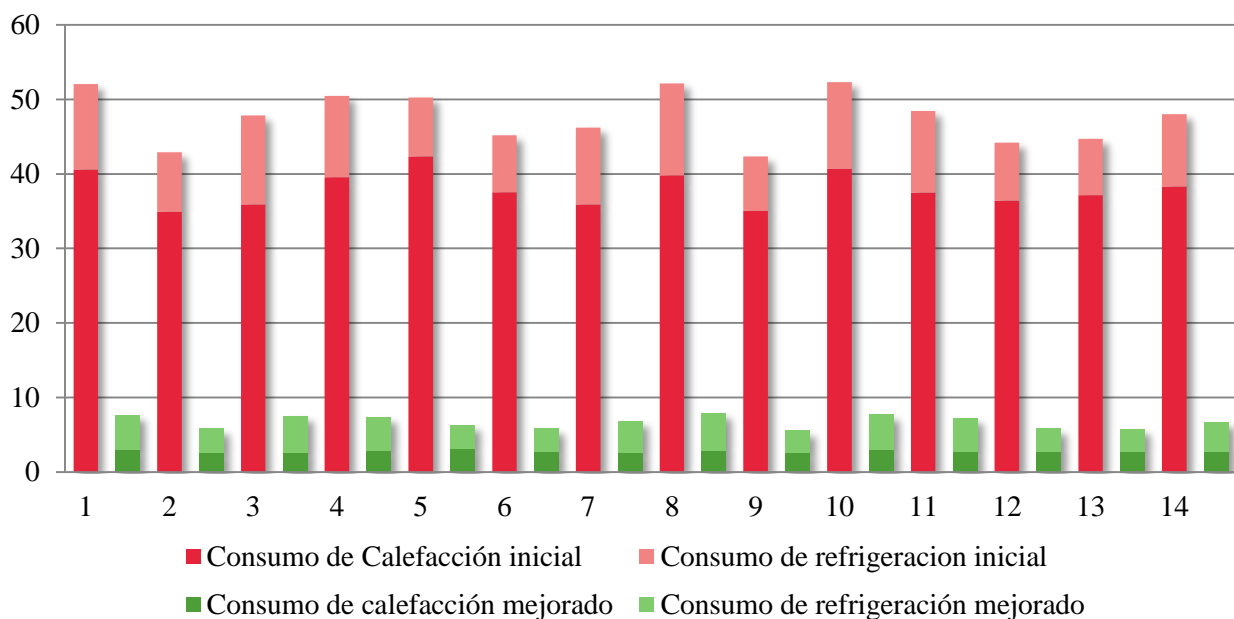


Figura 8-2. Comparación de los consumos antes y después de la rehabilitación energética de los 14 edificios.

Fuente: elaboración propia

El consumo inicial de energía destinada a climatización por parte del distrito completo era de 1371 MWh/año. Tras la rehabilitación se consigue que éste sea de 172.69 MWh/año, lo que supone un ahorro de energía total de la manzana de un 87.4%, lo que tendrá un efecto directo sobre la calidad de vida de los residentes y sobre las emisiones de CO₂ a la atmósfera provenientes de estos catorce edificios.

9 EFECTO DE LA REHABILITACIÓN EN LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

Si los extraterrestres nos visitaran, me daría vergüenza decirles que todavía extraemos combustibles fósiles como fuente de energía.

- Neil deGrasse Tyson -

De la Herramienta Unificada se extrae como resultado, además de las demandas energéticas, la calificación energética de los edificios. La calificación energética, Tal y como define el Documento Básico HE de Ahorro de Energía publicado en el «BOE» núm. 219, de 2013 (orden FOM/1635/2013), es la “letra que indica la clase de eficiencia energética para un indicador determinado (por ejemplo, consumo energético). (...). En edificios nuevos la escala comprende, en orden de mayor a menor eficiencia, las calificaciones de clases A, B, C, D y E, extendiéndose hasta las calificaciones F y G para los edificios existentes.”

Esto es: que la calificación energética de un edificio ofrece información sobre su eficiencia energética, en comparación con un edificio de referencia de las mismas características (misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos) que el edificio objeto (edificio real del que obtendremos la calificación) pero con una eficiencia energética mayor. Así, un edificio con una calificación energética A será un edificio más parecido al edificio de referencia y, por tanto, más eficiente energéticamente que un edificio de las mismas características con una calificación B o inferiores.

El cálculo de la calificación energética tiene en cuenta tanto la demanda de energía como las instalaciones de climatización que la satisfacen. Por tanto, utiliza datos de consumo de energía que pasa a emisiones de CO₂ según los coeficientes de paso oficiales.

El resultado de la certificación en la situación de partida de los edificios de la Plaza de Oriente es la letra **D**, pero con un indicador de 19.7 kgCO₂/m²año, que delimita con la calificación **E**. Por ello, se concluye que los edificios se encuentran inicialmente en una situación en la que el consumo y las emisiones de CO₂ son excesivos.



Figura 9-1. Certificación energética del bloque 5 en la situación inicial extraída de HULC

El gran ahorro de energía que consigue la rehabilitación energética se ve reflejado en la certificación energética de los edificios, que pasan de su calificación inicial **D** a una calificación mejorada: **A**, con un indicador de 2.9 kgCO₂/m²año.

Por lo tanto, se puede concluir que la rehabilitación llevada a cabo consigue reducir drásticamente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

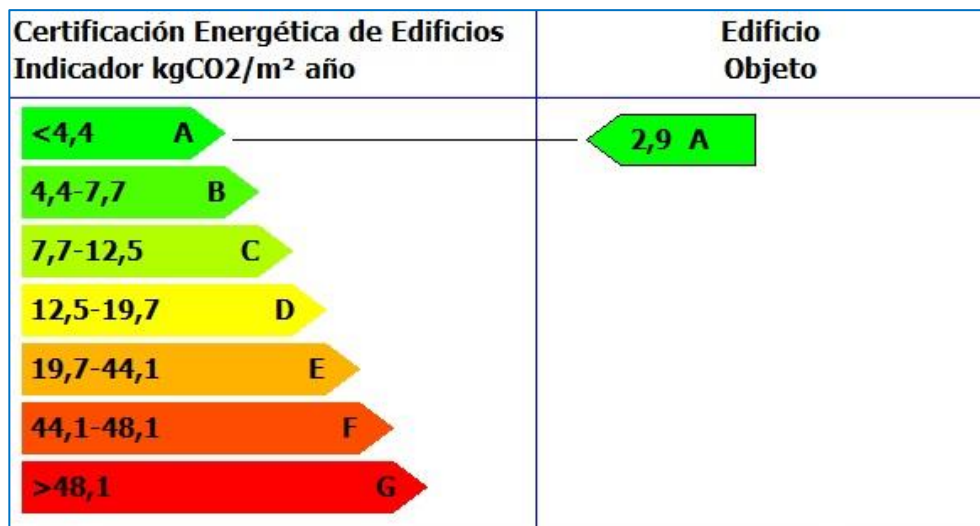


Figura 9-2. Certificación energética del bloque 5 tras la rehabilitación extraída de HULC

Pueden verse más detalles de las certificaciones inicial y final en el anexo 6.

10 INFLUENCIA DE INCLUIR UNA SOLUCIÓN INNOVADORA DE FACHADA

El riesgo es una parte inherente del proceso de innovación. No hacer nada tiene un riesgo mayor.

- Borja Baturone -

Esta solución innovadora se trata de una innovación sobre el conocido muro Trombe, la cual es una fachada radiante. El funcionamiento del muro trombe clásico consiste en la alternación de dos modos de funcionamiento: uno durante el día y otro durante la noche. Este estudio se centrará en la influencia que tiene esta fachada en el régimen de calefacción. En este régimen, el trombe funciona de la siguiente forma:

Se trata de que durante el día, la radiación solar atraviese la capa de vidrio exterior del muro, incidiendo sobre la superficie oscura del muro interior y calentándolo, por lo que éste almacenará calor. Durante la noche, el muro tiende a enfriarse transfiriendo calor principalmente hacia el exterior (debido a que se encuentra a menor temperatura), pero al existir la lámina de vidrio en el exterior, el calor se transferirá hacia el interior. Además, la lámina de vidrio puede ser además de simple, doble o triple. En estos casos, las pérdidas de calor hacia el exterior son mucho menores, por lo que se calentará más el interior del local.

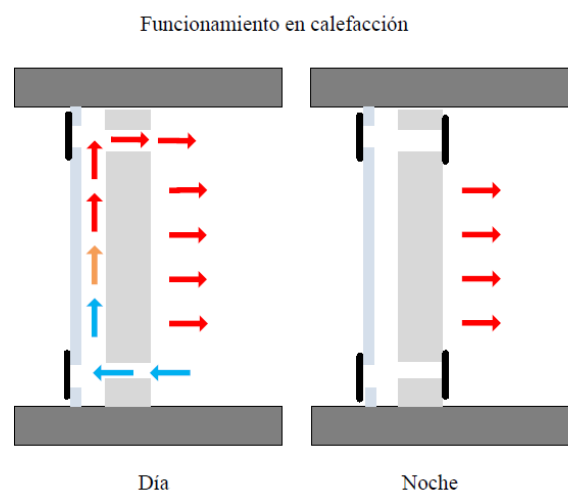


Figura 10-1. Funcionamiento de un muro trombe en régimen de calefacción. *Fuente: elaboración propia*

El elemento innovador que se incluye en este proyecto es un elemento estudiado en concepto de ensayo experimental y del que se ha realizado y validado un modelo teórico, por Juan Daniel Sánchez Ortiz en su trabajo: Modelo de caracterización experimental de una solución innovadora de fachada. El elemento experimental se

encuentra en una celda de ensayo situada en la localidad de Alcalá de Guadaíra, cercana a Sevilla. El objetivo de este apartado será estudiar la inclusión de este elemento en un edificio real, como los del distrito Plaza de Oriente que han sido tratados en este proyecto, por lo que se estudiará la influencia que tiene la implementación de esta fachada en el edificio objeto de nuestro estudio: el bloque 5 de la Plaza de Oriente. Para ello, primero necesitamos conocer el elemento de fachada.

10.1 Características de la celda de ensayo del elemento

En la siguiente figura puede observarse cómo es la celda de ensayos mencionada anteriormente.

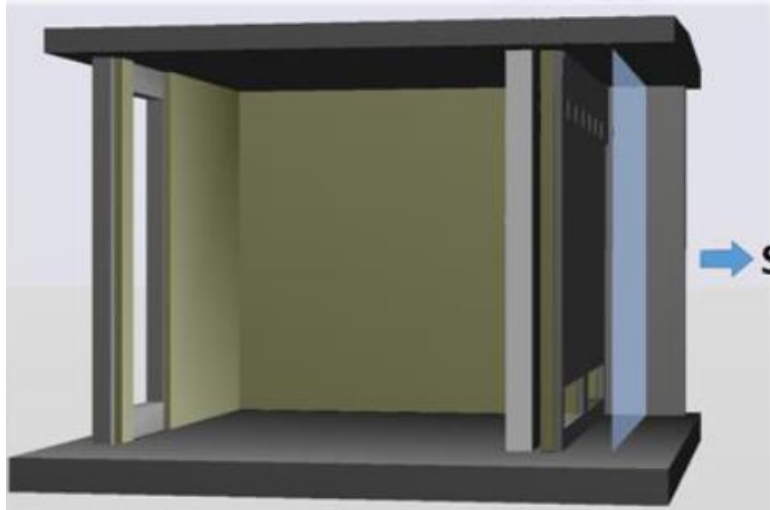


Figura 10-2. Celda de ensayo experimental del elemento. Fuente: Juan Daniel Sánchez Ortiz, 2016. Modelo de caracterización experimental de una solución innovadora de fachada

En la fachada sur, como puede observarse, se sitúa el elemento activo, formado por diferentes capas. De interior a exterior, estas son las capas que lo conforman y sus características:

1. Muro de hormigón: 16 cm de espesor y conductividad térmica $k = 1.3 \text{ W/mK}$.
2. Cámara de aire interior: 5 cm de espesor.
3. Aislante poliestireno: 8 cm de espesor y conductividad térmica $k = 0.035 \text{ W/mK}$. Con orificios en los extremos superior e inferior para dejar pasar el flujo de aire comunicando las cámaras de aire exterior e interior.
4. Hormigón: 12 cm de espesor y conductividad térmica $k = 1.3 \text{ W/mK}$. Con orificios en los extremos superior e inferior para dejar pasar el flujo de aire comunicando las cámaras de aire exterior e interior.
5. Cámara de aire exterior: 5 cm de espesor.
6. Hoja acristalada de vidrio simple: resistencia térmica $R_{vs} = 0.00682 \text{ W/m}^2\text{K}$, absorptividad $\alpha = 0.75$, factor solar $g = 0.80$ y transmitancia térmica $U = 5.5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

10.2 Descripción de la caracterización experimental del comportamiento del elemento situado en la celda de ensayo

Se ha realizado una campaña de mediciones durante los meses de diciembre y febrero con el fin de caracterizar el comportamiento de la celda de ensayo durante el periodo invernal. Para ello, se ha medido la temperatura interior de la celda con ayuda de tres sensores distribuidos en su interior, que registran las posibles diferencias de temperatura en el volumen de aire del interior de la celda. También se midieron las temperaturas superficiales interiores y las temperaturas de las capas que conforman el elemento activo. Además, se midió el calor cedido por un equipo de climatización existente en la celda, midiendo las temperaturas de impulsión y de retorno. Por último, también se registraron las condiciones exteriores durante todo el periodo de mediciones.

Para el ensayo, se hizo circular aire por el elemento activo con ayuda de ventiladores, que lo hacen circular a diferentes velocidades para obtener una caracterización del elemento en diferentes casos de flujo de aire a través del mismo.

Se hicieron tres campañas de mediciones diferentes: oscilación libre, temperatura impuesta y fachada activa.

10.3 Validación de los resultados experimentales y estudio de sensibilidad

Tras la caracterización experimental del elemento se realizó un modelo teórico con el objetivo de validar los resultados obtenidos. El modelo teórico analiza la transmisión de calor a lo largo de las capas que componen el elemento activo situado en la fachada sur de la celda de ensayo.

Esta caracterización analítica del elemento ofrece resultados de área solar muy parecidos a los experimentales, tanto que casi son coincidentes (para velocidades del aire nula y de 1.5 m/s).

Una vez validados los resultados experimentales, se procedió a la realización de un estudio de sensibilidad que ofreciese una caracterización del comportamiento de la fachada activa en diferentes situaciones: con variaciones de los parámetros constructivos del elemento activo: espesor de aislamiento y tipología de vidrio de la hoja vidriada exterior.

Así, se obtuvieron las transmitancias y áreas solares del elemento combinando los casos de velocidad de aire en el interior de 0 m/s y 1.5 m/s, aislamiento del elemento bajo, medio y alto, y vidrio exterior simple y doble. Y sobre estos resultados (tabla 10-1) parte este trabajo, que incluirá el elemento activo en un edificio real al que ya se le ha hecho una rehabilitación energética.

Tabla 20-1. Resultados del modelo de caracterización experimental de una solución innovadora de fachada, por Juan Daniel Sánchez Ortiz

Opciones experimentales			1 Subdivisión			
Vidrio	Aislante	Velocidad del aire	UA (W/K)	U (W/m ² K)	Área solar (W)	Área Solar (m ²)
Simple	Bajo (0 cm)	Nula	9,132	1,312	0,197	1,372
		Baja (0,5 m/s)	10,75	1,545	0,194	1,351
		Media (1,5 m/s)	13,12	1,885	0,185	1,291
		Alta (2,5 m/s)	14,53	2,088	0,179	1,245
	Medio (8 cm)	Nula	2,284	0,328	0,049	0,343
		Baja (0,5 m/s)	8,075	1,160	0,115	0,798
		Media (1,5 m/s)	11,990	1,723	0,143	0,993
		Alta (2,5 m/s)	13,897	1,997	0,150	1,047
	Alto (16 cm)	Nula	1,305	0,187	0,028	0,196
		Baja (0,5 m/s)	7,811	1,122	0,107	0,743
		Media (1,5 m/s)	11,912	1,712	0,140	0,972
		Alta (2,5 m/s)	13,861	1,991	0,149	1,036
Doble	Bajo (0 cm)	Nula	8,036	1,155	0,199	1,388
		Baja (0,5 m/s)	9,264	1,331	0,203	1,415
		Media (1,5 m/s)	10,973	1,577	0,206	1,433
		Alta (2,5 m/s)	11,940	1,716	0,206	1,436
	Medio (8 cm)	Nula	2,208	0,317	0,055	0,381
		Baja (0,5 m/s)	7,206	1,035	0,135	0,943
		Media (1,5 m/s)	10,170	1,461	0,172	1,200
		Alta (2,5 m/s)	11,509	1,654	0,185	1,288
	Alto (16 cm)	Nula	1,280	0,184	0,032	0,221
		Baja (0,5 m/s)	6,996	1,005	0,129	0,895
		Media (1,5 m/s)	10,114	1,453	0,170	1,183
		Alta (2,5 m/s)	11,484	1,650	0,184	1,279

10.4 Características de la inclusión del elemento activo en el edificio

El elemento innovador de fachada se intentará orientar, igual que en el experimento, hacia el sur. Dado que las fachadas de nuestro edificio objeto corresponden con las orientaciones NE, NO, SE y SO, se colocará el elemento en el área disponible de las fachadas SE y SO, que puede verse en la tabla 10-2.

Tabla 10-2. Área disponible en las orientaciones deseadas.

Fuente: elaboración propia

Elemento en SE	
Ancho (m)	3.9
Alto (m)	2.67
Número plantas	4
Número muros	2
Área total SE (m ²)	83.304
Elemento en SO	
Ancho (m)	2.55
Alto (m)	2.67
Número plantas	4
Número muros	2
Área total SO (m ²)	54.468
ÁREA TOTAL (m²)	137.772



Figura 10-3. Situación del elemento innovador de fachada en el edificio 5 de la Plaza de Oriente rehabilitado, en fachadas SE y SO. Fuente: elaboración propia a partir de la imagen diseñada por Edgar Gómez Romero

Como se ha descrito anteriormente, la inclusión de este elemento es una medida adicional a la rehabilitación energética que ha desarrollado este proyecto. El estudio del efecto que tendrá esta solución innovadora al aplicarlo en nuestro edificio objeto se realizará mediante el cálculo del ahorro energético que supone su implementación en seis casos diferentes, que se describen a continuación:

1. Vidrio simple y aislamiento bajo: caso E1.
2. Vidrio simple y aislamiento medio: caso E2.
3. Vidrio simple y aislamiento alto: caso E3.
4. Vidrio doble y aislamiento bajo: caso E4.
5. Vidrio doble y aislamiento medio: caso E5.
6. Vidrio doble y aislamiento alto: caso E6.

En todos los casos se estudiará el elemento con un comportamiento de régimen de invierno, en el que el funcionamiento cambia en función de si es de día o de noche, como mostraba la figura 10-1 para un muro trombe convencional. Así, durante el día, se ponen en funcionamiento los ventiladores, haciendo pasar un caudal de aire por la cámara de aire exterior que se calienta debido a la radiación solar que recibe a través del vidrio; mientras que por la noche permanecen parados para que se transmita el calor al interior. A estos dos estados se les llamará abierto (de día, con una velocidad del aire de 1.5 m/s) y cerrado (de noche, con una velocidad del aire nula).

10.5 Cálculo de la solución innovadora implantada en el edificio

Para calcular el ahorro que supone cada una de las soluciones hay que comparar la demanda de calefacción del edificio en situación inicial (en este caso hablamos de la situación rehabilitada del edificio) con la situación final con el elemento. Para ello necesitamos primero calcular esta demanda mejorada que supone la inclusión del elemento en el área del que disponemos (137.77 m²).

La demanda final se calcula como hicimos con la demanda de calefacción, con su ecuación (4-1). Entonces, hay que calcular las pérdidas y las ganancias del edificio con el elemento. Se calculará el ahorro total calculando la nueva demanda de calefacción y sumándola a la de refrigeración (que será la misma que la inicial).

Las pérdidas se calculan como las pérdidas iniciales del edificio rehabilitado, menos las pérdidas correspondientes a los metros cuadrados de muro inicial que va a sustituirse por el elemento, más las pérdidas que aporta el elemento al incluirlo en esos metros cuadrados. Deben restarse esas pérdidas porque van a ser sustituidas, ya que es lo que hace el elemento de fachada, no añadir sin más. Los resultados de estos balances de pérdidas y ganancias pueden verse en el anexo 7.

$$DC_{final} = DC_{total\ inicial} - DC_{muro\ inicial} + DC_{muro\ con\ elemento} \quad (10-1)$$

En el caso de las ganancias, el elemento de fachada sí que añade más área solar y, por tanto, mayores ganancias solares; no sustituyendo a las que ya tiene (por los cerramientos semitransparentes que posee el edificio), sino añadiendo una superficie vidriada con cámara de aire donde antes existía un cerramiento opaco. Por tanto, las ganancias finales se calculan como la suma de las iniciales más las que añade el elemento.

$$DR_{final} = DR_{total\ inicial} + DR_{muro\ con\ elemento} \quad (10-2)$$

Las pérdidas que supone el elemento innovador se calculan teniendo en cuenta el tiempo que está cerrado y el tiempo que está abierto. Así, su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$P_{elemento} (kWh) = (UAc \cdot GD \cdot (1 - \delta) + UAa \cdot GD \cdot \delta) \cdot 24/1000 \quad (10-3)$$

Las ganancias se reciben por las dos orientaciones: SE y SO y también dependen de los estados abierto (de día, es decir, cuando se reciben casi todas las ganancias solares) y cerrado (de noche).

$$G_{elemento} (kWh) = (Asc \cdot Ic + Asa \cdot Ia)_{SE} + (Asc \cdot Ic + Asa \cdot Ia)_{SO} \quad (10-4)$$

10.6 Efecto en la demanda de la implantación de la solución innovadora de fachada en los diferentes casos

Tabla 10-3. Efecto en la demanda de la implantación de la solución innovadora de fachada en los seis casos estudiados. Fuente: elaboración propia

	CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Ahoro (kWh)	Ahoro (%)	Ahoro (€)
E1	V_SIMA_BAJ	0	16453	16453	1	2	8226	12620	43.41	2637.57
E2	V_SIMA_MED	4703	16453	21156	1	2	12929	7917	27.23	1654.66
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16453	21214	1	2	12988	7859	27.03	1642.49
E4	V_DOB A_BAJ	3008	16453	19461	1	2	11235	9612	33.06	2008.80
E5	V_DOB A_MED	3623	16453	20076	1	2	11849	8997	30.95	1880.40
E6	V_DOB A_ALTO	0	16453	16453	1	2	8226	12620	43.41	2637.57

Partimos de una demanda total inicial de 29073 kWh. Como podemos observar, en los casos E1 y E6 se consigue reducir la demanda de calefacción en un 100%, obteniendo como demanda de energía total la demanda de refrigeración exclusivamente. Esto supone un ahorro de 12620 kWh anuales, que significa un ahorro económico anual de 2637.57 € para todo el edificio (bloque 5). Estos casos tan diferentes logran los mismos ahorros debido a que el caso E1 tiene un aislamiento bajo por el que se producen muchas pérdidas pero mucha área solar por la que se producen muchas ganancias que las compensan, mientras que en el caso E6 se producen menos pérdidas pero también con menor área solar, por lo que finalmente tienen el mismo efecto. Esto puede verse en la tabla 10-1, observando el U (W/m^2K) y el Área solar (W) de cada uno de los dos casos.

En el resto de casos, se producen ahorros de energía de en torno al 30%, suponiendo ahorros económicos cercanos a los 2000 €/año.

10.7 Estudio de costes de la solución innovadora de fachada

Al ser un elemento innovador, no existe una inversión inicial conocida para su implantación. Por lo que se realizará este estudio con el fin de hallar el precio adecuado por m^2 de superficie de elemento.

Para ello, se incluirán estas seis nuevas soluciones en nuestra gráfica del estudio del coste de ciclo de vida, aunque esta vez trabajaremos con consumos y no con demandas. Estos consumos son los correspondientes con los equipos de climatización iniciales del edificio (de bajo rendimiento).

Pero para poder tener estas seis soluciones como seis puntos en nuestra gráfica, tendríamos que asociarles un coste de inversión con el que poder su calcular su coste del ciclo de vida. Por ello, vamos a asociarle al elemento diferentes costes y observar así donde se sitúan los puntos, si por encima o por debajo de la tendencia que tiene el resto de puntos.

El resultado de este ejercicio, con costes de inversión variando entre los $80€/m^2$ y los $650€/m^2$, es el siguiente:

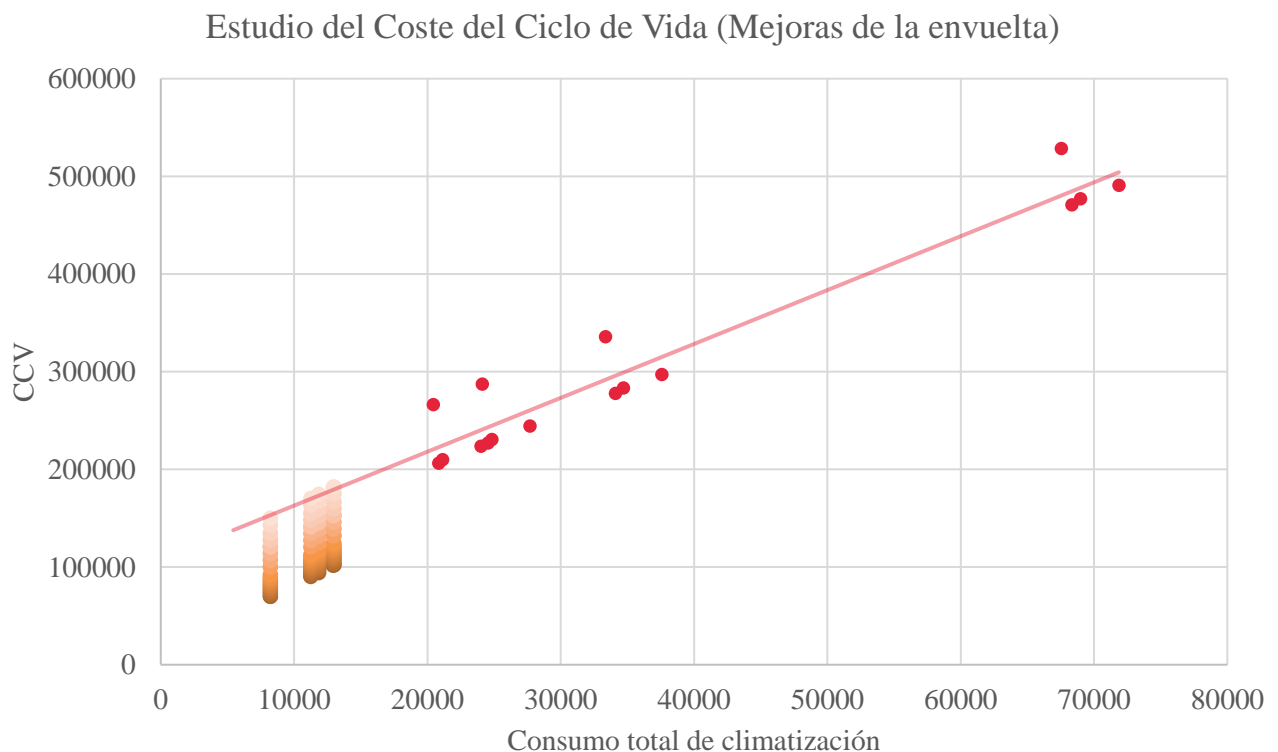


Figura 10-4. Estudio del coste de ciclo de vida del elemento innovador. Fuente: elaboración propia

Observando la figura 10-4 se ve la nube de puntos correspondiente con la rehabilitación energética anterior y su línea de tendencia, y cómo hacia la izquierda (menores consumos) aparecen los puntos correspondientes con las alternativas E1 hasta E6 del elemento innovador de fachada. Estas alternativas se ven representadas mediante líneas verticales al suponer un consumo de energía concreta pero unos costes variables.

Para verlas en más detalle observaremos la figura 10-5.

Estudio del Coste del Ciclo de Vida (Mejoras de la envuelta)

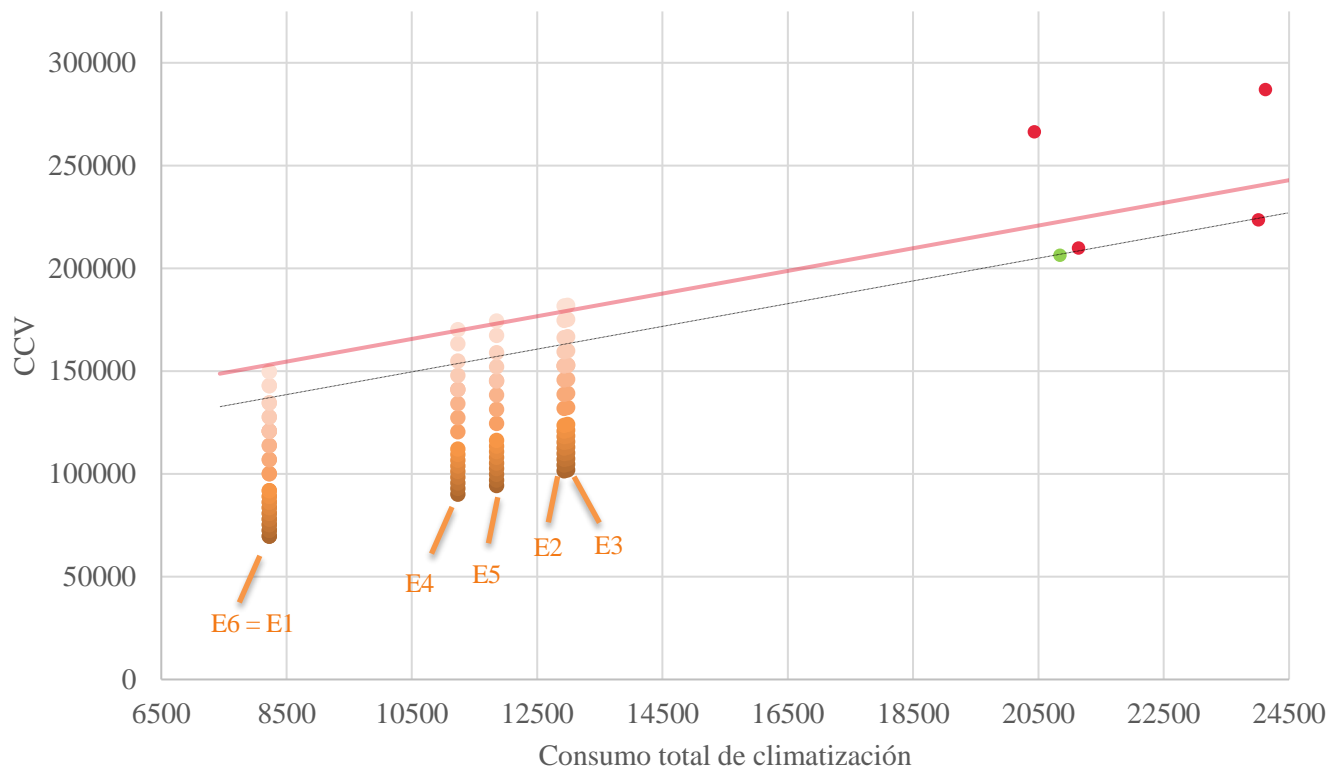


Figura 10-5. Estudio del coste de ciclo de vida del elemento innovador en detalle. Fuente: elaboración propia

En la figura 10-5 puede observarse en color verde cuál era la mejora óptima de nuestro estudio anterior, por lo que esta es la situación de partida al implantar el elemento innovador. Siendo este nuestro consumo inicial, vemos que todos los casos suponen ahorros de energía de climatización.

Ahora bien, para que adoptar esta medida tenga sentido, tiene que suponer un ahorro de energía con un coste de inversión asociado que no sea superior al de otras medidas de mejora de la envuelta. El punto del que partimos tiene un CCV de 206325 €. Si seguimos la línea de tendencia rosa de la nube de puntos (donde se situarían medidas de mejora convencionales), vemos cómo la situación lógica de estas nuevas alternativas de rehabilitación se situarían aproximadamente entre los 150000€ y 175000€ de CCV. Esta situación se da para un coste de inversión por metro cuadrado de elemento de entre 600€/m² y 650€/m² para los casos de E2 hasta E5, coincidiendo en 650€/m² para los casos E1 y E6, que suponen los mayores ahorros.

Si queremos ver el menor precio que tendría esta solución, observamos la línea de puntos negra, paralela a la línea de tendencia pero situada sobre los puntos de menor coste. Vemos que esta línea corta en los 500€/m² de inversión aproximadamente en todos los casos.

Si nos quedamos con la alternativa E1, el coste de inversión total con 500€/m² sería de 68886 € en total para poner los cuatro elementos en las dos caras del edificio SE y SO (4305.37 €/vivienda). Con un ahorro anual del edificio de 2637.57 €

En el anexo 7 pueden verse más detalles de cada una de las opciones con cada precio por m².

11 CONCLUSIONES

El tiempo es el mejor autor: siempre encuentra el final perfecto.

- Charles Chaplin -

De la realización de este proyecto se extraen varias conclusiones. En primer lugar, que con un estudio de alternativas para la rehabilitación energética basado en el coste de ciclo de vida, se puede lograr conocer la mejor de todas ellas para aplicarla en un caso concreto. Es la mejor forma de saber que se va a invertir en un proyecto de rehabilitación que es el mejor posible: el de menor coste de ciclo de vida y el que supondrá la menor demanda de energía del edificio de todas las alternativas posibles.

En relación a los objetivos abordados por este proyecto, se consigue una reducción del consumo de energía de una manzana completa de 1198.4 MWh al año, ahorrando un 87% de energía al realizar la rehabilitación energética de la misma, consistente en la aplicación de medidas de control solar y mejora de las transmitancias de los cerramientos y la permeabilidad de los huecos de los catorce edificios que conforman el distrito, además de la instalación de equipos de climatización más eficientes.

Así, en el contexto global de este proyecto, que pretende convertir el distrito en un distrito de balance neto de energía nulo, se consigue reducir el consumo climatización del distrito por debajo de los 219.2 MWh donde se marcaba nuestro objetivo, dejándolo en 172.7 MWh al año, contribuyendo al objetivo del proyecto global.

Tras la implantación de estas mejoras, las casi 300 familias residentes de la Plaza de Oriente podrán cubrir sus necesidades energéticas sin problema, lo que antes era difícil ya que la mayoría se encontraban en situación de pobreza energética. Esta rehabilitación supone un ahorro económico anual de 250465 € (869.67 € por familia).

Por último, en cuanto a la implantación de la solución innovadora de fachada, se concluye que para un coste de 600€/m² de fachada, puede instalarse un elemento activo que reduce hasta en un 100% la demanda de calefacción, suponiendo un ahorro del 43.41% de la demanda total anual. Con ello se produciría un ahorro económico anual de hasta 2637.57 € por bloque (164.84 € por familia).

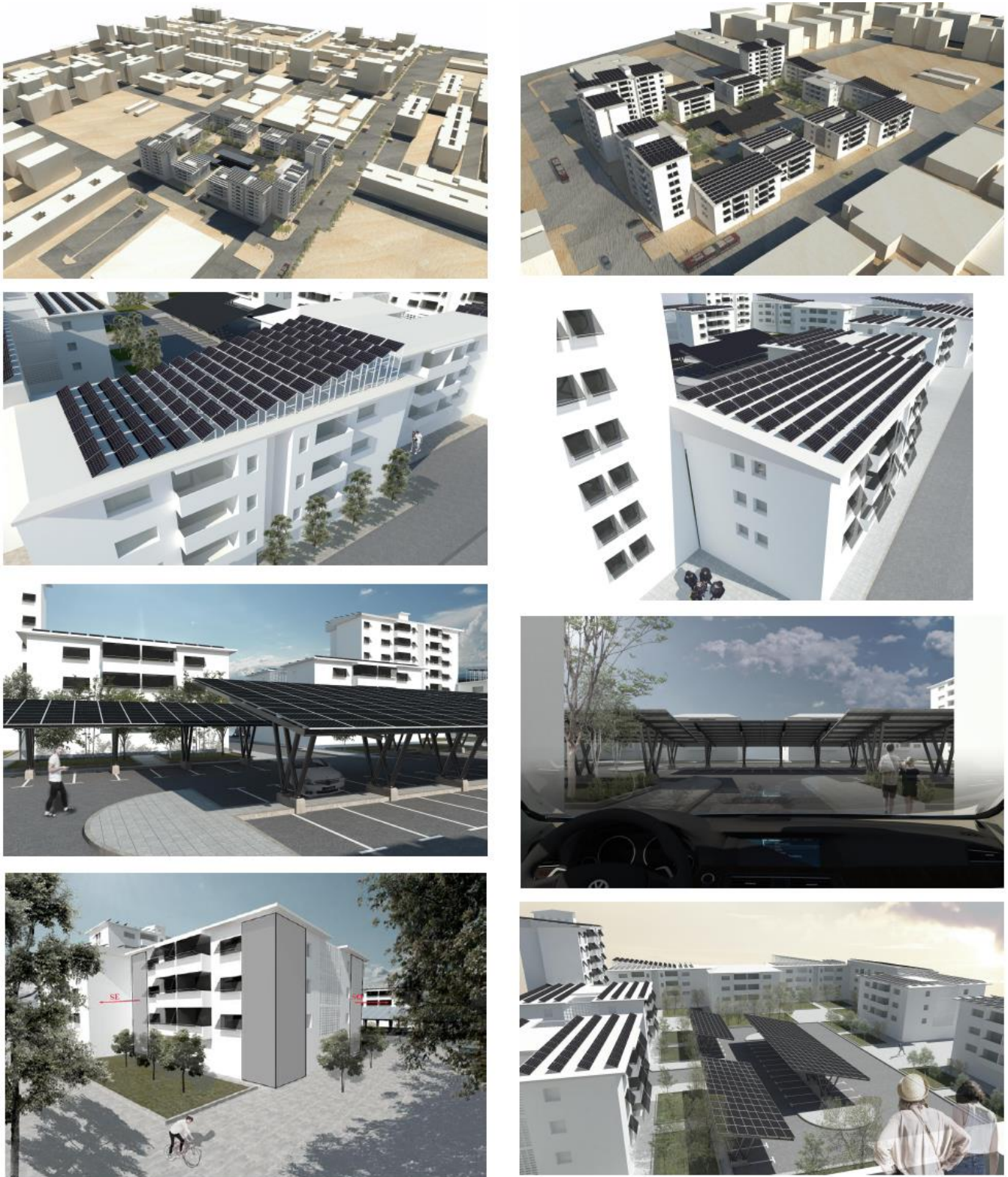


Figura 11-1. Distrito Plaza de Oriente en el contexto del proyecto global NZED. Fuente: Edgar Gomez Romero

12 ANEXOS

En este apartado se incluyen todos los anexos a los que se hace referencia en el núcleo de la memoria.

12.1 Anexo 1: Planos

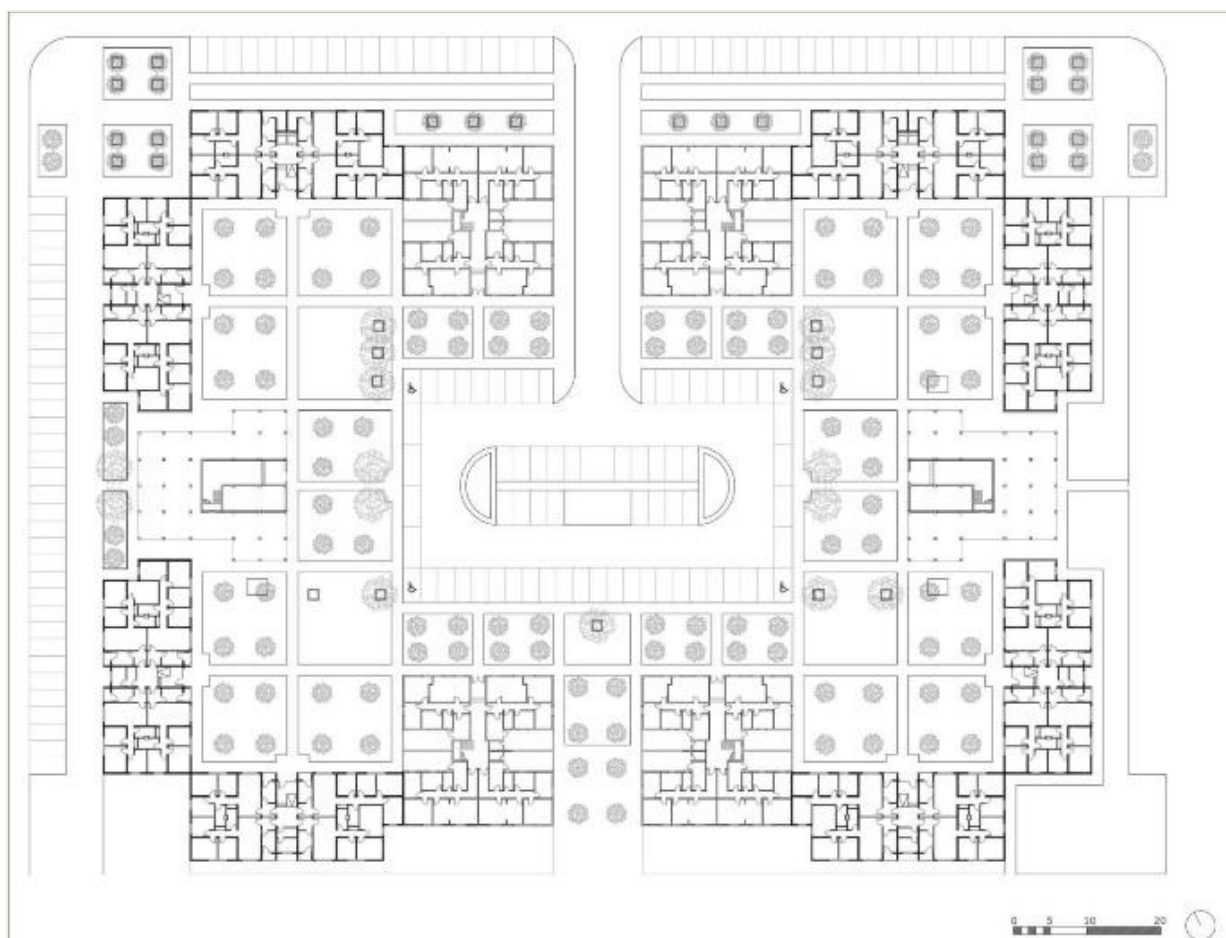


Figura 12-1. Planos del interior de los edificios en su situación en la plaza. Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla. Grupo ADICI HUM-810*

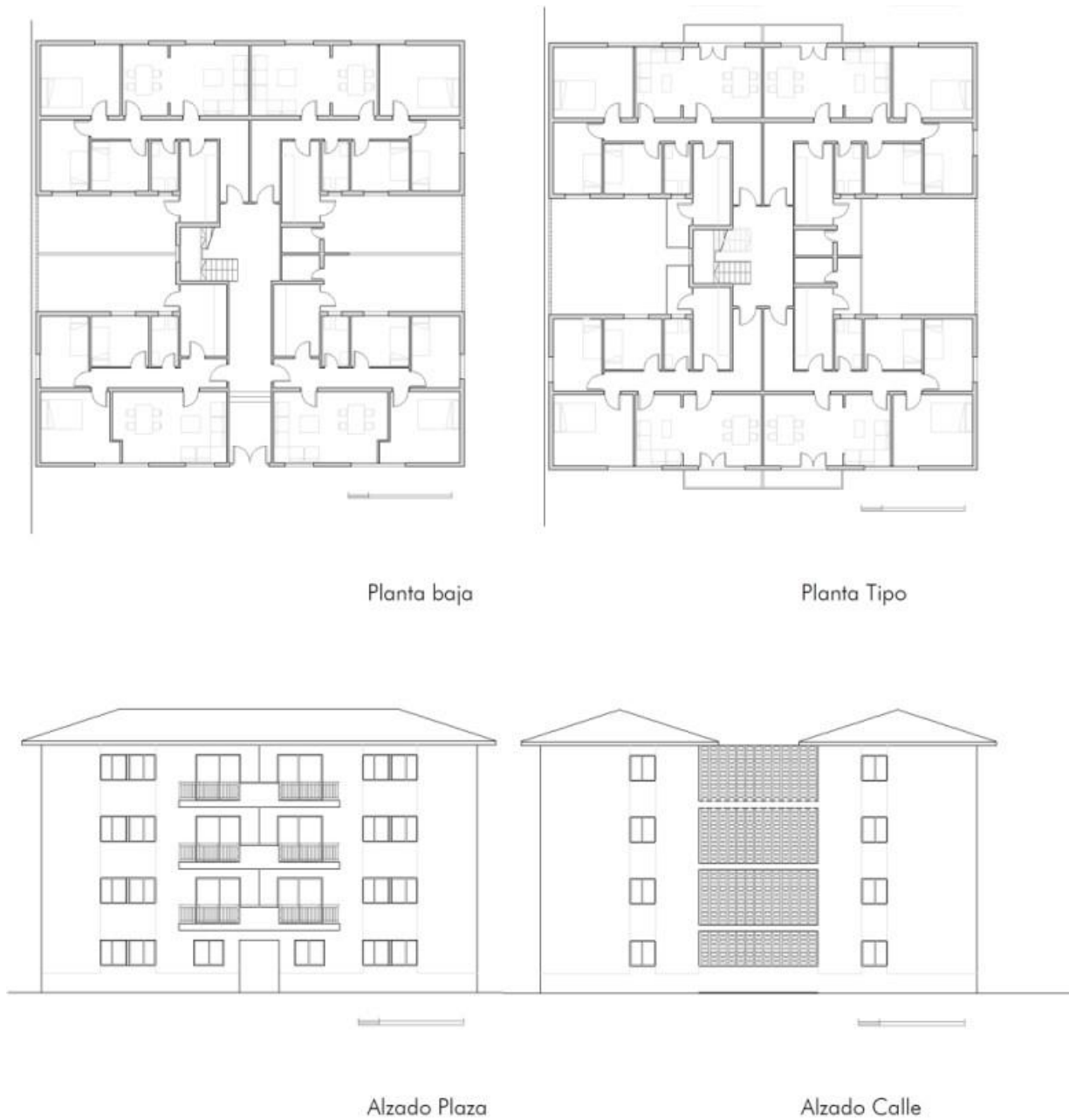


Figura 12-2. Planos de los edificios de tipo 2 (en H). Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla. Grupo ADICI HUM-810

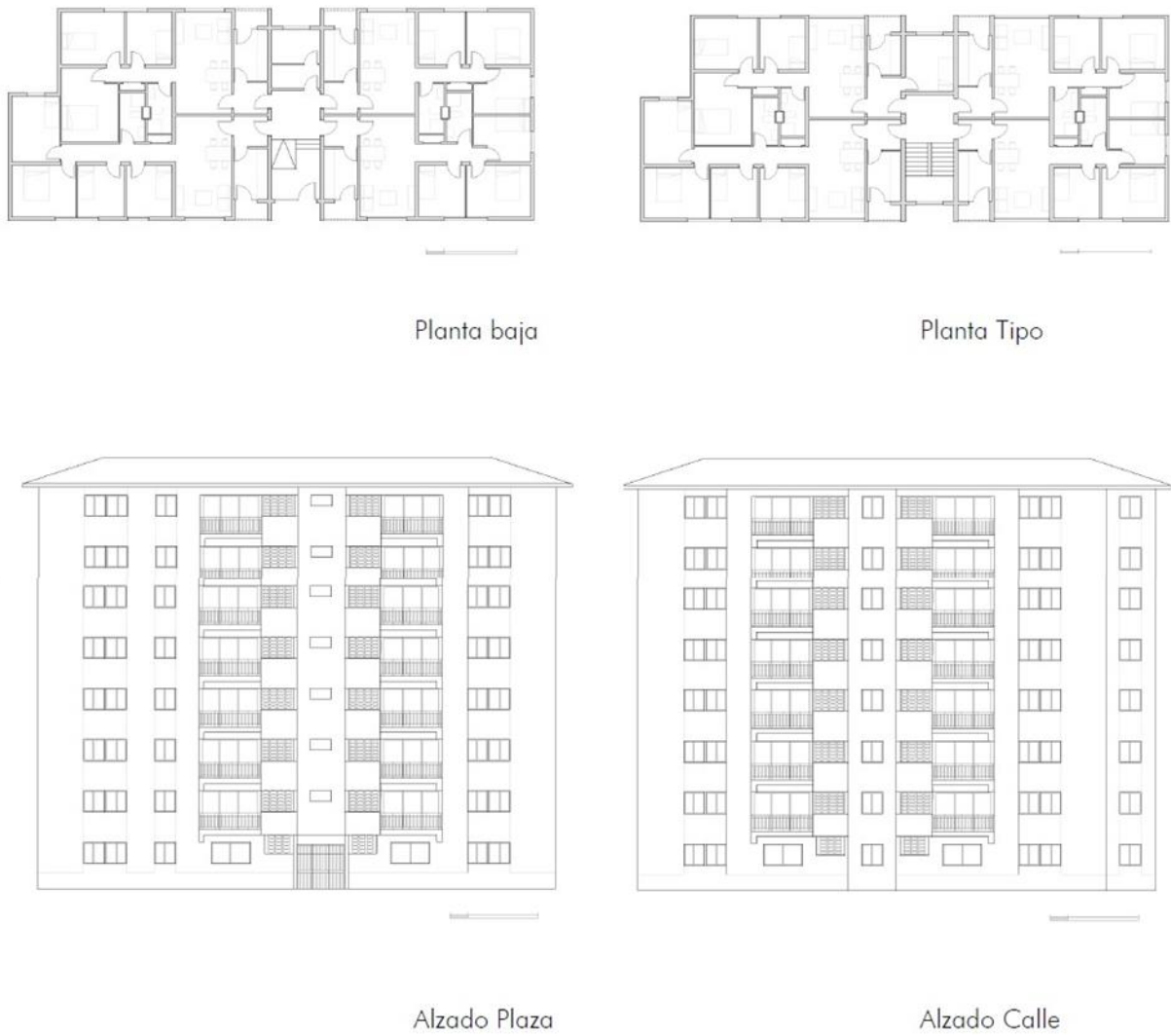
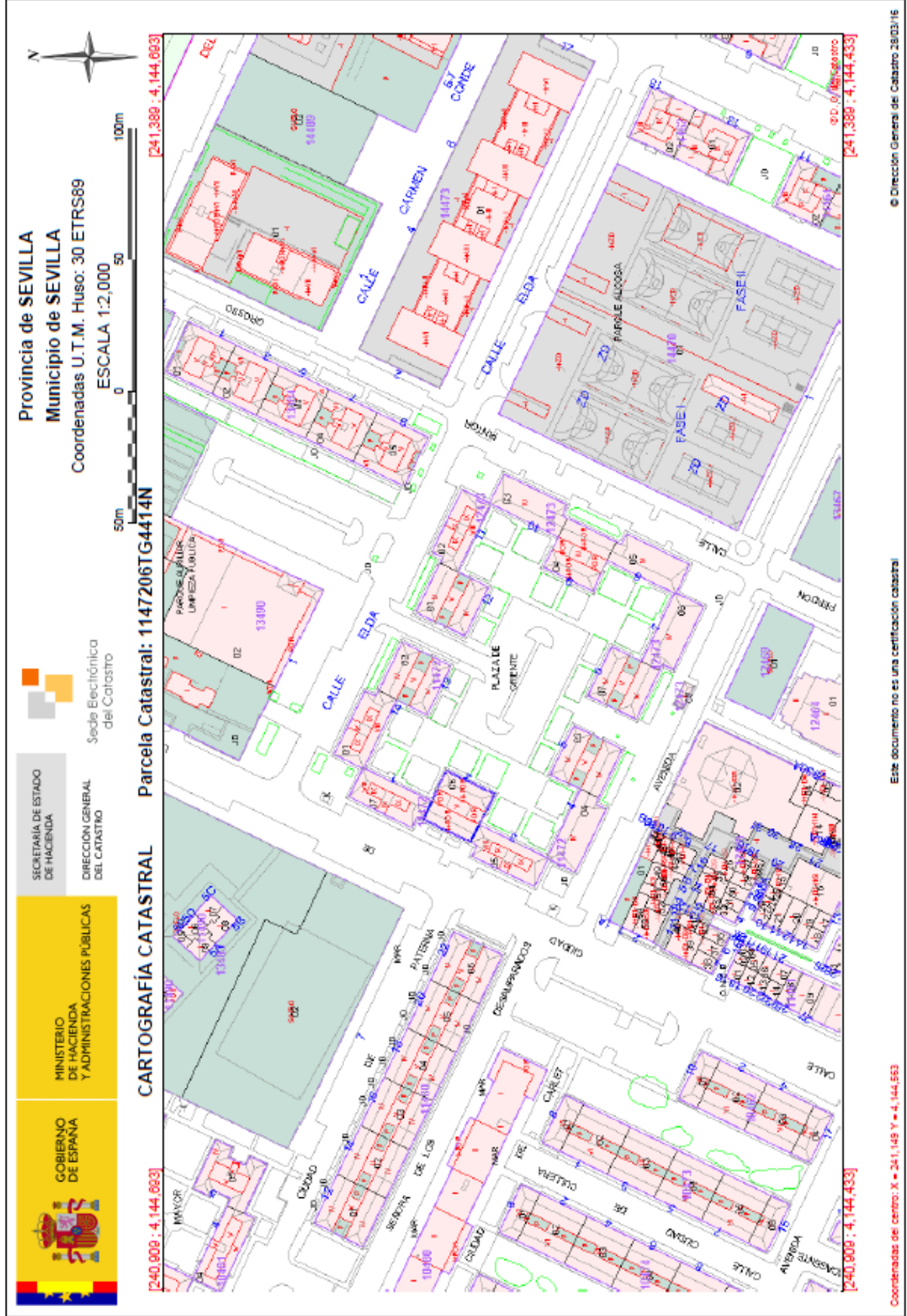


Figura 12-3. Planos de los edificios de 8 tipo 1 (rectangulares). Fuente: De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla.* Grupo ADICI HUM-810



SECRETARÍA DE ESTADO DE HACIENDA
DIRECCIÓN GENERAL DEL Catastro
Sede Electrónica del Catastro

MINISTERIO DE HACIENDA Y ADMINISTRACIONES PÚBLICAS
GOBIERNO DE ESPAÑA

Provincia de SEVILLA
Municipio de SEVILLA
Coordinadas U.T.M. Huso: 30 ETRS89
ESCALA 1:2.000

CARTOGRAFÍA CATASTRAL Parcela Catastral: 1147206TG4414N

[241,389 ; 4,144,693]

[240,808 ; 4,144,693]

[241,389 ; 4,144,433]

[240,808 ; 4,144,433]

© Dirección General de Catastro 28/03/16

Este documento no es una certificación catastral

Coordenadas de centro: X = 241,148 Y = 4,144,553

Figura 12-4. Cartografía catastral de la Plaza de Oriente: Relación con el entorno. Fuente: Catastro

12.2 Anexo 2: Características constructivas iniciales de los edificios

Tabla 12-1. Características constructivas iniciales de los cerramientos opacos.

CERRAMIENTOS OPACOS				
CUBIERTA		U=1.68 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Teja de arcilla cocida	0.05	1	2000	800
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.05	0.8	1525	1000
FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto	0.25	1.02	1180	1000
Enlucido de yeso aislante 600<d<900	0.02	0.3	750	1000
C. EXTERIOR		U=2.09 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.7	1300	1000
BH Hormigón convencional 200 mm	0.2	0.923	860	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.7	1650	1000
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.02	0.57	1150	1000
FORJADO		U=2.62 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 300mm	0.3	1.422	1240	1000
LADRILLO PRETIL		U=3.18 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Ladrillo de hormigón macizo de áridos densos	0.14	1.714	1800	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.8	1525	1000
YESO	0.015	0.4	1150	1000
MEDIANERA		U=3.19 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.8	1525	1000
BH MEDIANERA	0.14	2.5	1200	800
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.8	1525	1000
YESO	0.015	0.4	1150	1000
PARTICIONES (C. Interiores)		U=3.66 W/m ² K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.8	1525	1000
Hormigón armado d>2500	0.04	2.5	2600	800
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.8	1525	1000
YESO	0.015	0.4	1150	1000

Tabla 12-2. Características constructivas iniciales de los cerramientos semitransparentes (huecos). *Fuente: elaboración propia*

HUECOS	
VENTANA	U=5.7 W/m ² K
Vidrio	Sencillo
Marco	Met-Gris Claro
% cubierto de marco	10
Permeabilidad aire	50
Factor solar	0.77
PUERTA	U=5.7 W/m ² K
Vidrio	Sencillo
Marco	Met-Gris Claro
% cubierto de marco	10
Permeabilidad aire	60
Factor solar	0.77

12.3 Anexo 3: Factores correctores

Tabla 12-3. Factores correctores del método simplificado. *Fuente: elaboración propia*

U edificio	W/m2K
Detallado	2.15
Simplificado	2.443
Factor Corrector FC1	0.88

Pérdidas CAL	kWh
Detallado HULC	11955.9
Simplificado	13262.8
Factor Corrector FC4	0.9

ASSE CAL (Febrero)	m2
Detallado	61.62
Simplificado	42.09
Factor Corrector FC2	1.46

Ganancias CAL	kWh
Simplificado	1106.12
Detallado HULC	1376.69
Factor Corrector FC5	1.24

ASSE REF (Agosto)	m2
Detallado	84.9
Simplificado	66.79
Factor Corrector FC3	1.27

Ganancias REF	kWh
Simplificado	10740.82
Detallado HULC	12905.06
Factor Corrector FC6	1.2

Factores correctores necesarios para corregir los parámetros característicos de la situación mejorada.

Factores correctores necesarios para corregir la demanda óptima simplificada y poder calcular el ahorro real respecto a la inicial detallada.

Las pérdidas nocturnas al ser sólo calculadas mediante el método detallado no necesitan ser corregidas. Se calculan para las cuatro alternativas de renovaciones/hora que propone el proyecto y para cada mes del periodo de refrigeración (variando entre cada mes solo el valor de los GDnoche).

Tabla 12-4. Pérdidas nocturnas en los meses de refrigeración para distintas renovaciones hora. *Fuente: elaboración propia*

PÉRDIDAS NOCTURNAS		kWh		
Mes	4 ren/h	10 ren/h	5 ren/h	7 ren/h
Junio	9199.641529	22999.1038	11499.5519	16099.3727
Julio	4589.718207	11474.2955	5737.14776	8032.00686
Agosto	3206.299223	8015.74806	4007.87403	5611.02364
Septiembre	5977.55706	14943.8926	7471.94632	10460.7249

Tabla 12-6. Estudio del coste de ciclo de vida de las alternativas de rehabilitación energética. Parte 2. Fuente: elaboración propia

Table with 36 rows (numbered 1-36) and 26 columns. Columns include: UA cerram/W/K, UA suelo m2, UA pt W/K, UA ventil W/K, UA GD Feb edia, UA GD Ago edia, RD Feb Wh/m2, RD Ago Why/m2, FI Feb W/m2, FI Ago W/m2, Dcal Feb kWh, Dcal Ago kWh, Pérd.n Ago kWh, Dref Ago kWh, Pérd.n Jun kWh, Dref Jun kWh, Pérd.n Jul kWh, Dref Jul kWh, Pérd.n Sep kWh, Dref Sep kWh, DCAL TOTAL kWh, DREF TOTAL kWh, DEM TOT REF-CAL kWh, Coste Reforma € (with sub-columns for I+M, Equipos, Operación Equipos), CCV 30 años €, and CONS TOT REF-CAL kWh.

Tabla 12-7. Desglose de costes de la reforma de la envuelta. Fuente: Grupo Termotecnia (AICIA), Instituto Eduardo Torroja de las ciencias de la Construcción. IETcc (CSIC). (2013) Determinación de los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética [archivo PDF]

€/m2	U ventana	A vent	U solera	A solera	U cubierta	A cubierta	U muro	A muro
minima	347.51	88.71	8.12	399.4	4.31	289.8	4.28	700.31
recomend	404.14	88.71	9.27	399.4	6.2	289.8	8.08	700.31
optima	404.14	88.71	12.7	399.4	9.04	289.8	11.1	700.31

Mejora permeabilidad	60	€/m2deventana	5322.6	€
Mejora g 50% (toldo)	90	€/m2deventana	3991.95	€
Mejora vent. Noct	3.5	€/m2desuelo	5591.6315	€
Mejora vidrios control sol	140	€/m2deventana	6209.7	€

Tabla 12-8. Precios orientativos de los equipos de climatización iniciales. Fuente: Grupo Termotecnia (s.f). Coste de ciclo de vida y periodo de recuperación del capital valores recomendados [archivo PDF]. E.T.S. de Ingenieros de Sevilla.

EQUIPOS CASO BASE	Equipo	Rendimiento	O&M	Fuel	Precio cble
CAL	Radiador	1	0	electricidad	0.209
REF	BdC	2	2346.6677	electricidad	0.209
			€ 15 años		€/kWh

Tabla 12-9. Precios orientativos de los equipos de climatización finales. Fuente: Grupo Termotecnia (s.f). Coste de ciclo de vida y periodo de recuperación del capital valores recomendados [archivo PDF]. E.T.S. de Ingenieros de Sevilla.

EQUIPOS CASO MEJORADO	Equipo	Rendimiento	O&M	Fuel	Precio cble	Inversión1	Inversión2
CALEFACCIÓN	BdC	3.6	1572.89	electricidad	0.209	3293.9	2114.229
REFRIGERACIÓN	BdC	3.2	1415.55	electricidad	0.209	2964.4	1902.735
			€ 15 años		€/kWh	€	€

12.5 Anexo 5: Características constructivas finales de los edificios

Tabla 12-10. Características constructivas finales de cerramientos opacos y semitransparentes mejorados en la rehabilitación. Fuente: elaboración propia

CERRAMIENTOS OPACOS				
CUBIERTA		U=0.21 W/m2K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Teja de arcilla cocida	0.05	1	2000	800
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.05	0.8	1525	1000
FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto	0.25	1.02	1180	1000
Enlucido de yeso aislante 600<d<900	0.02	0.3	750	1000
EPS Poliestileno Expandido	0.12	0.029	30	1000
C. EXTERIOR		U=0.26 W/m2K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.7	1300	1000
BH Hormigón convencional 200 mm	0.2	0.923	860	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.02	0.7	1650	1000
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.02	0.57	1150	1000
EPS Poliestileno Expandido	0.1	0.029	30	1000
SOLERA		U=0.33 W/m2K		
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 300mm	0.3	1.422	1240	1000
EPS Poliestileno Expandido	0.08	0.029	30	1000
HUECOS				
VENTANA		U=2.13 W/m2K		
Vidrio	Triple			
Marco	M-PVC			
% cubierto de marco	10			
Permeabilidad aire	9			
Factor solar	0.385			
PUERTA		U=2.13 W/m2K		
Vidrio	Triple			
Marco	M-PVC			
% cubierto de marco	10			
Permeabilidad aire	9			
Factor solar	0.385			

12.6 Anexo 6: Certificaciones energéticas

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO2/m ² año	Edificio Objeto		
	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Demanda calefacción	E	41,5	66301,5
Demanda refrigeración	C	15,8	25298,4
	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	E	69,4	110878,1
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	C	14,9	23810,9
Consumo energía primaria no renovable ACS	G	25,4	40545,6
Consumo energía primario renovable totales	E	109,7	175234,6
	Clase	kgCO2/m ² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	E	11,8	18782,3
Emisiones CO2 refrigeración	B	2,5	4033,5
Emisiones CO2 ACS	F	5,4	8586,1
Emisiones CO2 totales	D	19,7	31401,9

Figura 12-5. Resultado de la certificación energética de la situación inicial del edificio 5, obtenida de HULC

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO2/m ² año	Edificio Objeto		
	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Demanda calefacción	C	12,6	20148,8
Demanda refrigeración	B	11,6	18607,4
	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	10,2	16336,1
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	A	6,7	10764,5
Consumo energía primaria no renovable ACS	A	0,0	0,0
Consumo energía primario renovable totales	A	17,0	27100,6
	Clase	kgCO2/m ² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	A	1,7	2767,3
Emisiones CO2 refrigeración	A	1,1	1823,5
Emisiones CO2 ACS	A	0,0	0,0
Emisiones CO2 totales	A	2,9	4590,7

Figura 12-6. Resultado de la certificación energética de la situación final del edificio 5, obtenida de HULC

12.7 Anexo 7: Solución innovadora de fachada

Tabla 12-11. Resultados de los seis casos de solución innovadora de fachada con costes de 80€/m², 100€/m², 120€/m², 140€/m. Fuente: elaboración propia

Coste €/m²
80

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión €)	Coste inversión (€/inversión €)	CCV	Ahorro €/año
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	80	11022	69828	2638
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	80	11022	101637	1655
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	80	11022	102031	1642
E4	V_DOB A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	80	11022	90176	2009
E5	V_DOB A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	80	11022	94331	1880
E6	V_DOB A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	80	11022	69828	2638
Chase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325	0

Coste €/m²
100

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión €)	Coste inversión (€/inversión €)	CCV	Ahorro €/año
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	100	13777	72583	2638
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	100	13777	104392	1655
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	100	13777	104786	1642
E4	V_DOB A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	100	13777	92931	2009
E5	V_DOB A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	100	13777	97087	1880
E6	V_DOB A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	100	13777	72583	2638
Chase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325	0

Coste €/m²
120

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión €)	Coste inversión (€/inversión €)	CCV	Ahorro €/año
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	120	16533	75339	2638
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	120	16533	107148	1655
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	120	16533	107542	1642
E4	V_DOB A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	120	16533	95687	2009
E5	V_DOB A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	120	16533	99842	1880
E6	V_DOB A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	120	16533	75339	2638
Chase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325	0

Coste €/m²
140

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión €)	Coste inversión (€/inversión €)	CCV	Ahorro €/año
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	140	19288	78094	2638
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	140	19288	109903	1655
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	140	19288	110297	1642
E4	V_DOB A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	140	19288	98442	2009
E5	V_DOB A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	140	19288	102598	1880
E6	V_DOB A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	140	19288	78094	2638
Chase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325	0

Tabla 12-12. Resultados de los seis casos de solución innovadora de fachada con costes de 160€/m², 180€/m², 200€/m², 220€/m. Fuente: elaboración propia

Coste €/m ² 160														
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión)	Coste inversión (€/inversión)	CCV	Ahorro €/año	2638
E1 V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	160	22044	22044	80849	2638
E2 V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	160	22044	22044	112659	1655
E3 V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	160	22044	22044	113053	1642
E4 V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	160	22044	22044	101198	2009
E5 V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	160	22044	22044	105353	1880
E6 V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	160	22044	22044	80849	2638
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	60631.42	206325	0

Coste €/m ² 180														
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión)	Coste inversión (€/inversión)	CCV	Ahorro €/año	2638
E1 V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	180	24799	24799	83605	2638
E2 V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	180	24799	24799	115414	1655
E3 V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	180	24799	24799	115808	1642
E4 V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	180	24799	24799	103953	2009
E5 V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	180	24799	24799	108109	1880
E6 V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	180	24799	24799	83605	2638
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	60631.42	206325	0

Coste €/m ² 200														
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión)	Coste inversión (€/inversión)	CCV	Ahorro €/año	2638
E1 V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	200	27554	27554	86360	2638
E2 V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	200	27554	27554	118170	1655
E3 V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	200	27554	27554	118563	1642
E4 V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	200	27554	27554	106709	2009
E5 V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	200	27554	27554	110864	1880
E6 V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	200	27554	27554	86360	2638
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	60631.42	206325	0

Coste €/m ² 220														
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión)	Coste inversión (€/inversión)	CCV	Ahorro €/año	2638
E1 V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	220	30310	30310	89116	2638
E2 V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	220	30310	30310	120925	1655
E3 V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	220	30310	30310	121319	1642
E4 V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	220	30310	30310	109464	2009
E5 V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	220	30310	30310	113619	1880
E6 V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	220	30310	30310	89116	2638
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	60631.42	206325	0

Tabla 12-13. Resultados de los seis casos de solución innovadora de fachada con costes de 240€/m², 300€/m², 350€/m², 400€/m. Fuente: elaboración propia

Coste €/m²
240

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión (€))	CCV	Ahorro €/año
E1 V SIMA BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	240	33065	91871
E2 V SIMA MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	240	33065	123681
E3 V SIMA ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	240	33065	124074
E4 V DOBA BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	240	33065	112220
E5 V DOBA MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	240	33065	116375
E6 V DOBA ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	240	33065	91871
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

Coste €/m²
300

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión (€))	CCV	Ahorro €/año
E1 V SIMA BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	300	41332	100137
E2 V SIMA MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	300	41332	131947
E3 V SIMA ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	300	41332	132341
E4 V DOBA BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	300	41332	120486
E5 V DOBA MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	300	41332	124641
E6 V DOBA ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	300	41332	100137
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

Coste €/m²
350

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión (€))	CCV	Ahorro €/año
E1 V SIMA BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	350	48220	107026
E2 V SIMA MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	350	48220	138835
E3 V SIMA ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	350	48220	139229
E4 V DOBA BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	350	48220	127374
E5 V DOBA MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	350	48220	131530
E6 V DOBA ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	350	48220	107026
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

Coste €/m²
400

CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión (€))	CCV	Ahorro €/año
E1 V SIMA BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	400	55109	113915
E2 V SIMA MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	400	55109	145724
E3 V SIMA ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	400	55109	146118
E4 V DOBA BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	400	55109	134263
E5 V DOBA MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	400	55109	138418
E6 V DOBA ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	400	55109	113915
Chase Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

Tabla 12-14. Resultados de los seis casos de solución innovadora de fachada con costes de 450€/m², 500€/m², 550€/m², 600€/m. Fuente: elaboración propia

		Coste €/m ²		450									
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONTS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión €/inversión (€)	CCV	Ahorro €/año	
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	450	61997	120803
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	450	61997	152613
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	450	61997	153006
E4	V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	450	61997	141152
E5	V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	450	61997	145307
E6	V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	450	61997	120803
Cbase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

		Coste €/m ²		500									
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONTS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión €/inversión (€)	CCV	Ahorro €/año	
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	500	68886	127692
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	500	68886	159501
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	500	68886	159895
E4	V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	500	68886	148040
E5	V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	500	68886	152196
E6	V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	500	68886	127692
Cbase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

		Coste €/m ²		600									
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONTS TOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión €/inversión (€)	CCV	Ahorro €/año	
E1	V_SIMA_BAJ	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	600	82663	142998
E2	V_SIMA_MED	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	600	82663	174808
E3	V_SIMA_ALTO	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	600	82663	175202
E4	V_DOB_A_BAJ	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	600	82663	163347
E5	V_DOB_A_MED	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	600	82663	167502
E6	V_DOB_A_ALTO	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	600	82663	142998
Cbase	Rehabilitación anterior	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016		60631.42	206325

Tabla 12-15. Resultados de los seis casos de solución innovadora de fachada con coste de 650€/m. *Fuente: elaboración propia*

		Coste €/m2													
		650													
CASO	DC (kWh)	DR (kWh)	DTOT(R+C) (kWh)	REND CAL	REND REF	CONSTOT (kWh)	Coste equipos	C Energía anual	C Energía 30 años	Coste inversión (€/inversión (€))	Coste inversión (€/inversión (€))	CCV	Ahorro €/año		
E1	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	650	89552	149887	2638		
E2	4703	16452.9334	21156	1	2	12929	4693.3354	2702.24304	87451.2311	650	89552	181696	1655		
E3	4761	16452.9334	21214	1	2	12988	4693.3354	2714.40976	87844.9759	650	89552	182090	1642		
E4	3008	16452.9334	19461	1	2	11235	4693.3354	2348.09695	75990.1924	650	89552	170235	2009		
E5	3623	16452.9334	20076	1	2	11849	4693.3354	2476.49789	80145.5627	650	89552	174391	1880		
E6	0	16452.9334	16453	1	2	8226	4693.3354	1719.33154	55641.7975	650	89552	149887	2638		
Cbase	12619.9471	16452.9334	29072.8805	1	2	20846	4693.3354	4356.90048	141000.016	60631.42	60631.42	206325	0		

REFERENCIAS

- De Manuel Jerez, Esteban (2012-2014). *Barrios en transición. Avanzando hacia la rehabilitación urbana sostenible de Parque Alcosa, Sevilla* [archivo PDF]. Grupo ADICI HUM-810
- De Manuel Jerez, Esteban (2015). *G-GI3001/IDIG Barrios en transición* [archivo PDF] Universidad de Sevilla.
- Cano R.D., Jaramillo A., Bernal J., Moreno D., (s.f). *Un Estudio de caso: Rehabilitación singular de edificios de viviendas en la barriada del parque Alcosa, análisis de patologías comunes y propuesta de intervención* [archivo PDF]. E.T.S. Arquitectura de Sevilla
- Sede electrónica del catastro. Consulta de datos catastrales. <https://www1.sedecatastro.gob.es>
- Grupo Termotecnia (s.f). *Coste de ciclo de vida y periodo de recuperación del capital valores recomendados* [archivo PDF]. E.T.S. de Ingenieros de Sevilla.
- Grupo Termotecnia (AICIA), Instituto Eduardo Torroja de las ciencias de la Construcción. IETcc (CSIC). (2013) *Determinación de los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética* [archivo PDF]
- Norma española UNE-EN 15459 – Eficiencia energética de los edificios – Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios
- Grupo Termotecnia (s.f.). *Valores indicativos de parámetros característicos* [archivo PDF]. E.T.S. de Ingenieros de Sevilla.
- Sánchez Ortiz, Juan Daniel (2016). *Modelo de caracterización experimental de una solución innovadora de fachada*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Proyecto NZED *Net Zero Energy District* (2016).
- Grupo Termotecnia (s.f.). *Captador solar plano – Energías renovables* [archivo PDF]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Salmerón Lissén, José Manuel, Álvarez Domínguez, Servando (s.f.). *Sistemas solares pasivos: Objetivos y clasificación. Obtención de Parámetros característicos* [archivo PDF]. E.T.S.I, Universidad de Sevilla.

