

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Rehabilitación optimizada de una vivienda unifamiliar

Autora: Laura López Mateos

Tutor: José Luis Molina Félix

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Rehabilitación optimizada de una vivienda unifamiliar

Autora:

Laura López Mateos

Tutor:

José Luis Molina Félix

Catedrático de Universidad

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

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Rehabilitación optimizada de una vivienda unifamiliar

Autor: Laura López Mateos

Tutor: José Luis Molina Félix

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

*A todas aquellas personas que,
hasta el día de hoy, me han hecho
crecer en conocimiento y como ser
humano.*

Agradecimientos

Agradezco al sistema universitario por ser una pequeña representación de la sociedad en sí misma. Nunca antes, en mi vida, había experimentado la depresión académica.

Siento que no puedo cerrar mis estudios actuales sin dejar por escrito una realidad y que no está vinculado a este grado en concreto sino al sistema universitario en general. Es frustrante realizar un esfuerzo día tras día y no obtener los resultados deseados e incluso de perder la ilusión por aprender.

En mi opinión, y de muchos otros alumnos a los que he tenido la oportunidad de preguntar, el sistema universitario no es el que habíamos pensado. Donde las asignaturas son muy densas y cuatrimestrales, no da tiempo a interiorizar los conceptos. Donde desde el minuto uno, algunos profesores, se preocupan más en infravalorar y juzgar a sus alumnos por no saber cosas que todavía no te han enseñado o que te acaban de enseñar, que en que las aprendas. Donde no te facilitan temario donde venga la materia explicada bien y que tu rendimiento académico se base en cómo de rápido puedes escribir en clase o en cuanto dinero te puedes gastar en academias.

Agradezco esta experiencia por haber aprendido que, si ves algo injusto o que se puede mejorar, la única forma de cambiarlo es utilizando los recursos que está a nuestra disposición y que muchas veces no usamos, ya que, este sistema al fin y al cabo lo formamos entre todos. Y, por último, cambiar la forma en la que nos afectan la opinión destructiva de una persona.

Agradezco todo lo vivido porque incluso de los malos momentos se aprende cosas buenas. La vida universitaria no es más que una pequeña representación de la vida laboral, donde existen injusticias y no se denuncian, donde muchos compañeros y jefes parece que viven para alcanzar el éxito a costa de quien sea y cómo sea.

He de decir que, aunque tanto el sistema universitario como ciertas personas te empujan a ello, también hay muchos, la mayoría, que realizan perfectamente su labor como educadores y que se lo agradezco de corazón porque me han ayudado a seguir hacia delante y a recordar por qué elegí este grado.

Centrándome en el presente trabajo, agradezco de corazón toda la ayuda prestada por parte de mi tutor de TFG, José Luis Molina Félix y, en especial, a M^aCarmen Guerrero Delgado por ser tan paciente y dedicar su tiempo a resolver todas mis dudas.

Laura López Mateos

Sevilla, 2020

Resumen

En el presente proyecto se ha realizado una rehabilitación optimizada de una vivienda unifamiliar existente. En primer lugar, el edificio existente se ha modelado en el software Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) y, posteriormente se han detallado posibles soluciones que reducen la demanda y el consumo energético del edificio en mayor o menor medida; todas dentro de las exigencias del reglamento vigente de la edificación. Dichas soluciones se centran en mejorar la envolvente, los equipos de climatización e incluir aportación renovable tanto en ACS como en producción de energía eléctrica.

Finalmente, se ha elegido la solución óptima, es decir, el conjunto de mejoras que, cumpliendo la normativa, suponga un coste de ciclo de vida menor.

Abstract

In the following project an optimized rehabilitation of a single-family home has been carried out. At first, the building has been modelled with LIDER-CALENER Unified Tool (HULC) software. Then, possible solutions that reduce the demand and energy consumption of the building have been detailed, all of them comply with the requirements of the current building regulations. These solutions focus on improving the enveloping, the air conditioning equipment and on including renewable contribution in both ACS and electric power production.

Finally, the set of improvements that, in compliance with the regulations, represents a lower life cycle cost, has been chosen as the optimal solution.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xviii
Índice de Conceptos	xx
1 Introducción	1
2 Objetivo del Proyecto	5
2.1. <i>Mejora de la envolvente</i>	5
2.1 <i>Inclusión de una instalación solar térmica</i>	5
2.2 <i>Mejora del equipo de climatización</i>	5
2.3 <i>Inclusión de una instalación fotovoltaica</i>	5
3 Situación Inicial de la Vivienda	7
3.1 <i>Descripción de la Vivienda</i>	7
3.1.1 <i>Elementos constructivos en la situación inicial</i>	8
4 Modelaje de la Situación Inicial en HULC	11
4.1 <i>Datos generales</i>	11
4.2 <i>Definición geométrica</i>	12
4.3 <i>Definición de sistemas</i>	12
4.4 <i>Resultados de HULC para la Vivienda Unifamiliar en la situación inicial</i>	13
4.4.1 <i>Demanda</i>	13
4.4.2 <i>CTE-HE-1</i>	14
4.4.3 <i>CTE-HE-0</i>	15
4.4.4 <i>CTE-HE-4</i>	16
4.5 <i>Parámetros característicos a nivel de componentes en la situación inicial</i>	16
4.5.1 <i>Transmitancia térmica</i>	16
4.5.2 <i>Ventilación e infiltración</i>	18
4.5.3 <i>Ganancias solares en verano</i>	18
4.6 <i>Parámetros característicos a nivel de edificio en la situación inicial</i>	18
5 Propuestas de Mejora de la Envolvente	21
5.1 <i>Mejoras en las transmitancias térmicas</i>	22
5.2 <i>Mejoras en ventilación e infiltración</i>	23
5.3 <i>Mejoras de las ganancias solares en verano</i>	25
5.4 <i>Mejoras de la ventilación nocturna</i>	25
6 Expresiones Analíticas para Caracterizar la Envuelta de la Vivienda	27
6.1 <i>Caracterización del edificio mediante expresiones analíticas</i>	27
6.1.1 <i>Particularización de ecuaciones para la vivienda en la situación inicial</i>	28

6.1.2	Particularización de ecuaciones para la vivienda en las situaciones mejoradas	29
6.1.3	Evaluación económica de las propuestas de mejora de la envuelta	29
6.1.4	Envuelta óptima	30
7	Contribución Renovable Solar para ACS	34
7.1	<i>Mejora de la fracción renovable del consumo de ACS</i>	34
8	Propuestas de Mejora de los Equipos	36
8.1	<i>Mejoras en equipos de climatización</i>	36
8.1.1	Climatización unizona con autónomo frío/calor	38
8.1.2	Climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico	38
8.1.3	Climatización multizona con autónomo frío/calor	38
8.1.4	Climatización multizona por conductos frío/calor	39
8.1.5	Calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	39
8.1.6	Calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	39
8.1.7	Sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío	40
8.2	<i>Evaluación económica de las propuestas de mejora de los equipos</i>	40
8.3	<i>Equipos de climatización óptimo</i>	41
9	Contribución Renovable Fotovoltaica	45
9.1	<i>Mejora de la potencia de producción eléctrica instalada</i>	45
10	Modelaje de la Situación Mejorada Óptima	48
10.1	<i>Resultados situación inicial</i>	48
10.2	<i>Resultados situación mejorada final</i>	49
11	Conclusiones	53
12	Anexos	55
12.1	<i>Elementos constructivos en la situación inicial</i>	55
12.2	<i>Planos DXF diseñados con AutoCAD</i>	57
12.3	<i>Catálogo técnico de los paneles solares térmicos para ACS</i>	58
12.4	<i>Catálogo técnico de las posibles mejoras en equipos</i>	59
12.4.1	Climatización unizona con autónomo frío/calor	59
12.4.2	Climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico	60
12.4.3	Climatización multizona con autónomo frío/calor	61
12.4.4	Climatización multizona por conductos frío/calor	62
12.4.5	Calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	63
12.4.6	Calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	64
12.4.7	Sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío	64
12.5	<i>Catálogo económico de las posibles mejoras en equipos</i>	66
12.5.1	Coste climatización unizona con autónomo frío/calor	66
12.5.2	Coste climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico	66
12.5.3	Coste climatización multizona con autónomo frío/calor	66
12.5.4	Coste climatización multizona por conductos frío/calor	66
12.5.5	Coste calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	67
12.5.6	Coste calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío	67
12.5.7	Coste sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío	68
12.6	<i>Cálculo de CCV de las posibles mejoras en equipos</i>	69
12.7	<i>Catálogo paneles fotovoltaicos</i>	70
Referencias		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables	11
Tabla 4-2. Sistemas de referencia	12
Tabla 4-3. Valores mínimos de ocupación en uso residencial privado	13
Tabla 4-4 . Klim [W/m ² K] para uso residencial privado (HE-1)	15
Tabla 4-5. qsol límite en julio [kWh/m ² *mes] (HE-1)	15
Tabla 4-6. n50 límite [h-1]	15
Tabla 4-7. Cep,nren,lim [kW*h/m*año] para uso residencial privado (HE-0)	16
Tabla 4-8. Cep,tot,lim [kW*h/m ² *año] para uso residencial privado (HE-0)	16
Tabla 4-9. Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos en la situación inicial	17
Tabla 4-10. Transmitancia térmica de la envuelta del edificio en la situación inicial	17
Tabla 4-11. Ulim [W/m ² *K] (HE-1)	17
Tabla 4-12. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo calefacción situación inicial	19
Tabla 4-13. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo refrigeración situación inicial	19
Tabla 5-1. Posibles mejoras de la transmitancia térmica en la envuelta	22
Tabla 5-2. Valores recomendados por el CTE-HE	22
Tabla 5-3. Posibles mejoras de la transmitancia térmica lineal	22
Tabla 5-4. Posibles mejoras de ventilación e infiltración	23
Tabla 5-5. Horario de ocupación de la vivienda	24
Tabla 5-6. Mejora número 2 de ventilación/infiltración	24
Tabla 5-7. Posibles mejoras en ganancias solares	25
Tabla 5-8. Posibles mejoras en ventilación nocturna	25
Tabla 6-1. Coeficientes correctores	28
Tabla 6-2. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo calefacción situación envuelta optimizada	32
Tabla 6-3. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo refrigeración situación envuelta optimizada	32
Tabla 7-1. Producción mensual de Energía Térmica a partir de fuente renovable	34
Tabla 8-1. Precio de los vectores energéticos	40
Tabla 9-1. Consumo mensual de energía eléctrica	45
Tabla 9-2. Producción fotovoltaica en Sevilla proporcionados por PVGis	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Metodología del proyecto	2
Figura 3-1. Diseño gráfico de la vivienda unifamiliar: fachada delantera (izquierda) y trasera (derecha)	7
Figura 3-2. Vista en planta de la planta baja (izquierda) y la primera planta (derecha)	8
Figura 4-1. Vista delantera (izquierda) y trasera de la vivienda (derecha)	12
Figura 4-2. Demanda de calefacción y refrigeración en la situación inicial mediante simulación en HULC	14
Figura 4-3. Verificación HE-1 en la situación inicial mediante simulación en HULC	14
Figura 4-4. Verificación HE-0 en la situación inicial mediante simulación en HULC	15
Figura 4-5. Verificación HE-4 en la situación inicial mediante simulación en HULC	16
Figura 5-1. Diagrama ACHeq en función de ACHextracción para $v=4\text{m/s}$	23
Figura 5-2. Diagrama ACHinfiltraciones en función de ACH (impulsión-extracción) para $v=4\text{m/s}$	24
Figura 6-1. Representación de las mejoras de la envolvente	30
Figura 6-2. Zoom de representación de las mejoras de la envolvente	31
Figura 6-3. Verificación HE-1 de la situación con envuelta optimizada mediante simulación en HULC	31
Figura 6-4. Demanda de calefacción y refrigeración de la situación con envuelta mejorada mediante HULC	32
Figura 7-1. Resultados HULC situación envuelta mejorada y contribución renovable de ACS	35
Figura 8-1. Factores de paso de energía final a primaria	37
Figura 8-2. Verificación HE-0 mejora 1 de equipos climatización mediante HULC	38
Figura 8-3. Verificación HE-0 mejora 2 de equipos climatización mediante HULC	38
Figura 8-4. Verificación HE-0 mejora 3 de equipos climatización mediante HULC	39
Figura 8-5. Verificación HE-0 mejora 4 de equipos climatización mediante HULC	39
Figura 8-6. Verificación HE-0 mejora 5 de equipos climatización mediante HULC	39
Figura 8-7. Verificación HE-0 mejora 6 de equipos climatización mediante HULC	40
Figura 8-8. Verificación HE-0 mejora 7 de equipos climatización mediante HULC	40
Figura 8-9. Coste de Ciclo de Vida y Epnren de los posibles equipos de climatización	41
Figura 8-10. Coste de Ciclo de Vida y Eptotal de los posibles equipos de climatización	42
Figura 8-11. Consumo envolvente+SolarACS+ equipo óptimo mediante simulación en HULC	42
Figura 8-12. Consumo equipo inicial mediante simulación en HULC	43

Figura 9-1. Consumo vivienda envolvente+equipo óptimo+solarACS+fotovoltaica mediante HULC	46
Figura 9-2. Consumo vivienda envolvente+equipo óptimo+solarACS mediante simulación en HULC	46
Figura 10-1. Verificación del HE-1 de la situación inicial mediante simulación en HULC	48
Figura 10-2. Calificación energética demandas situación inicial mediante HULC	48
Figura 10-3. Verificación HE-0 de la situación inicial mediante simulación en HULC	49
Figura 10-4. Calificación energética consumo Epnren situación inicial mediante HULC	49
Figura 10-5. Calificación energética emisiones globales situación inicial mediante HULC	49
Figura 10-6. Verificación HE-1 de la situación mejorada final mediante simulación en HULC	50
Figura 10-7. Calificación energética demandas situación mejorada final mediante HULC	50
Figura 10-8. Verificación HE-0 de la situación mejorada final mediante simulación en HULC	50
Figura 10-9. Calificación energética consumo Epnren situación mejorada final mediante HULC	51
Figura 10-10. Calificación energética emisiones globales situación mejorada final mediante HULC	51

ÍNDICE DE CONCEPTOS

Envolvente térmica: se compone de todos los cerramientos que limitan espacios habitables y el ambiente exterior, ya sea aire, terreno u otro edificio, y por las particiones interiores que separan espacios habitables de los no habitables que también limiten con el exterior.

COP: Coeficiente de eficiencia energética de los equipos de climatización en modo de calefacción.

EER: Coeficiente de eficiencia energética de los equipos de climatización en modo de refrigeración.

n_{50} : Son las infiltraciones (es decir, indeseadas) en unidades de renovaciones hora que padece un edificio cuando se comete a una presión de 50 Pa. Es un parámetro del edificio que mide la estanqueidad. Se mide en h^{-1} .

K: Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica: Valor medio del coeficiente de transmisión de calor para la superficie de intercambio térmico de la envolvente. Se mide en $W/m^2 \cdot K$.

g: factor solar: Fracción de la radiación solar que se introduce en el edificio a través del acristalamiento respecto a la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente.

$q_{sol,jul}$: Control solar: Es la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($Q_{sol,jul}$) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas, y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A_{util}). Se mide en $kWh/m^2 \cdot mes$.

$ACH_{nominal}$: Son las renovaciones hora de aire exterior necesarias y deseadas que deben entrar en el edificio de manera controlada. Esta depende de la ocupación.

$ACH_{equivalente}$: Son las renovaciones hora de aire exterior que entra realmente en el edificio. Esta puede tener parte deseada y otra parte indeseada.

F_s : Factor de sombra: fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos. Si tiene valor 0 significa que todo es sombra y si es 1 significa que no hay nada de sombra.

η : Factor de utilización: Fracción de flujos favorables (ganancias en régimen de calefacción o pérdidas en régimen de refrigeración) que se usan para compensar los desfavorables (pérdidas en régimen de calefacción o ganancias en régimen de refrigeración). Se saca de una gráfica, en función de γ y τ .

γ : Cociente entre las ganancias y pérdidas en régimen de calefacción; cociente entre pérdidas y ganancias en régimen de refrigeración.

τ : Constante de tiempo [h]: Depende de la inercia de los elementos constructivos.

ϵ : Eficiencia del edificio: Es la capacidad que tiene una zona habitable de calentar el aire que entra por la noche. Si el valor es 1 significa que la temperatura a la que sale el aire nocturno de la vivienda es igual a la temperatura de las paredes.

1 INTRODUCCIÓN

*Cuida de los pequeños gastos; un pequeño agujero
hunde un barco.*

- Benjamin Franklin -

El consumo de energía final en edificios a nivel de la UE conforma un 40% del total, según datos de la Comisión Europea. El dato homólogo a nivel nacional es del 30% según datos del IDAE. El gran porcentaje que representa, sumado al estado de abandono en este ámbito, crea la necesidad de cumplir la normativa vigente expuesta en los Documentos Básicos (DB) del Código Técnico de la Edificación (CTE) hace necesaria la rehabilitación energética de la vivienda unifamiliar objeto de estudio en este proyecto. El CTE establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la LOE. Dentro del CTE hay diferentes DB, entre ellos el de Ahorro de Energía (DB HE) y el de Salubridad (DB HS), que son los dos principales que se utilizarán en este proyecto.

- DB-HE: Ahorro de energía
 - HE0: Limitación del consumo energético
 - HE1: Condiciones para el control de la demanda energética
 - HE2: Condiciones de las instalaciones térmicas
 - HE3: Condiciones de las instalaciones de iluminación
 - HE4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria
 - HE5: Generación mínima de energía eléctrica
- DB-HS: Salubridad
 - HS1: Protección frente a la humedad
 - HS2: Recogida y evaluación de residuos
 - HS3: Calidad del aire interior
 - HS4: Suministro de agua
 - HS5: Evaluación de aguas
 - HS6: Protección frente a la exposición al radón

El proyecto se limita únicamente a la aplicación del HE-0, HE-1, HE-4, HE-5 y HS3.

El alcance de este proyecto gira entorno a la evaluación de la situación inicial, estudiar los posibles paquetes de mejoras para encontrar la solución óptima e implementarla en la vivienda, con el objetivo de ver el ahorro energético que se ha producido. Para ello, se utilizarán software como la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), CHEQ4 y PVGIS.

HULC sirve para verificar el cumplimiento de la normativa de CTE-DB-HE y, por otro lado, emitir el certificado de eficiencia energética. Ha sido creada por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y el Ministerio de Fomento, Industria, Energía y Turismo.

CHEQ4 se utiliza para el cumplimiento y evaluación del CTE-BD-HE4, proporcionando la producción térmica de baja temperatura. Ésta ha sido elaborada por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT).

PVGIS, por su parte, es una aplicación oficial desarrollada por la Unión Europea que permite calcular tu producción anual fotovoltaica en cualquier parte del mundo.

La metodología a seguir es la que se muestra en la Figura 1-1.

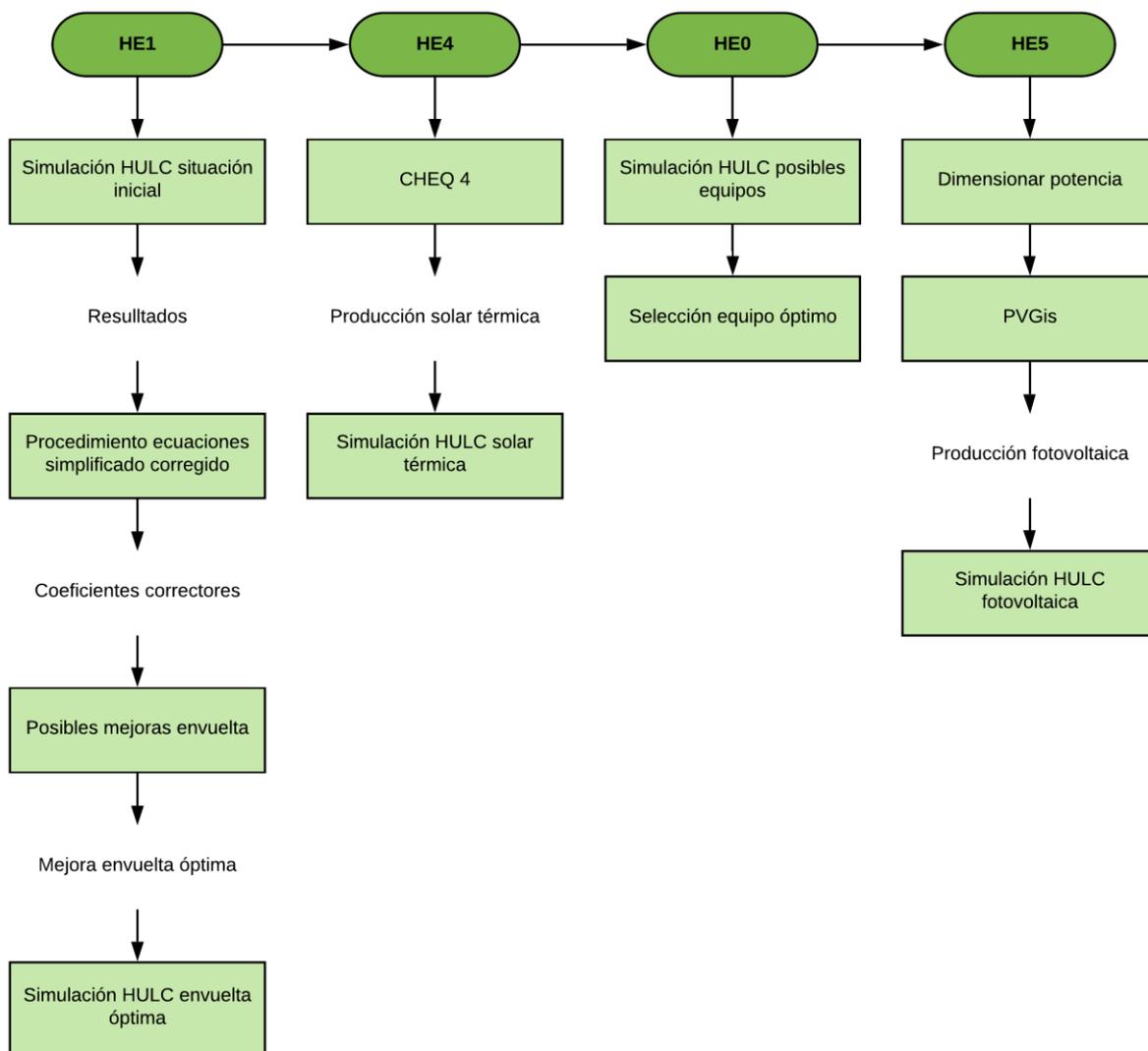


Figura 1-1. Metodología del proyecto

2 OBJETIVO DEL PROYECTO

La mejor manera de ahorrar dinero es no perder.

- Les Williams-

El objetivo principal del presente proyecto es la reducción de la demanda de la vivienda y del consumo de los equipos que contiene ésta. Para ello, se realizan una serie de mejoras, entre ellas las que se explicarán a continuación:

2.1. Mejora de la envolvente

El documento básico de ahorro de energía (HE) que pertenece al Código técnico de la edificación (CTE) establece unos límites reglamentarios que hay que cumplir, entre los cuales están los que controlan la demanda energética (HE1) como son el K_{lim} , el $q_{sol;jul,lim}$ y el n_{50} . La mejora en la envolvente hace disminuir la demanda del edificio haciendo cumplir dichos límites.

2.1 Inclusión de una instalación solar térmica

El documento básico de ahorro de energía (HE) establece unos límites reglamentarios que hay que cumplir, entre los cuales está la contribución de renovables para ACS con la fracción renovable de consumo de ACS (HE4). La inclusión de una instalación solar térmica para ACS hace disminuir la E_{pnrn} haciendo cumplir dicho límite.

2.2 Mejora del equipo de climatización

En el HE se establece unos límites reglamentarios que hay que cumplir, entre los cuales también están los que controlan el consumo energético (HE0) como son el $C_{ep,nren,lim}$ y el $C_{ep,tot,lim}$. La mejora en los equipos de climatización hace disminuir el consumo de los equipos haciendo cumplir dichos límites.

2.3 Inclusión de una instalación fotovoltaica

El documento básico de ahorro de energía (HE) establece unos límites reglamentarios que hay que cumplir, entre los cuales está la generación mínima de energía eléctrica de electricidad con la potencia de producción eléctrica instalada (HE5). En el caso de las viviendas esta exigencia no es aplicable, pero se realizará con el objetivo de reducir más aún el consumo de E_{pnrn} .

3 SITUACIÓN INICIAL DE LA VIVIENDA

El hombre bien preparado para la lucha ya ha conseguido medio triunfo.
- Miguel de Cervantes-

En este capítulo se describirá detalladamente la situación de partida en la que se encuentra la vivienda objeto de estudio. Se conocerá el tipo de vivienda, su distribución interior, orientación y los elementos constructivos de los que se compone.

3.1 Descripción de la Vivienda



Figura 3-1. Diseño gráfico de la vivienda unifamiliar: fachada delantera (izquierda) y trasera (derecha)

En la Figura 3-1 se representa gráficamente la vivienda unifamiliar objeto de estudio de forma aislada mediante el software LosSims4. Hay que tener en cuenta que la vivienda real es pareada pero que por limitaciones del programa no se ha podido representar como tal.

Como se puede observar el presente proyecto girará entorno a esta vivienda unifamiliar localizada en la provincia de Sevilla.

Está compuesta de dos plantas cuya área habitable total es de 98.15 m²; y cuya distribución y orientación se puede consultar en la Figura 3-2.

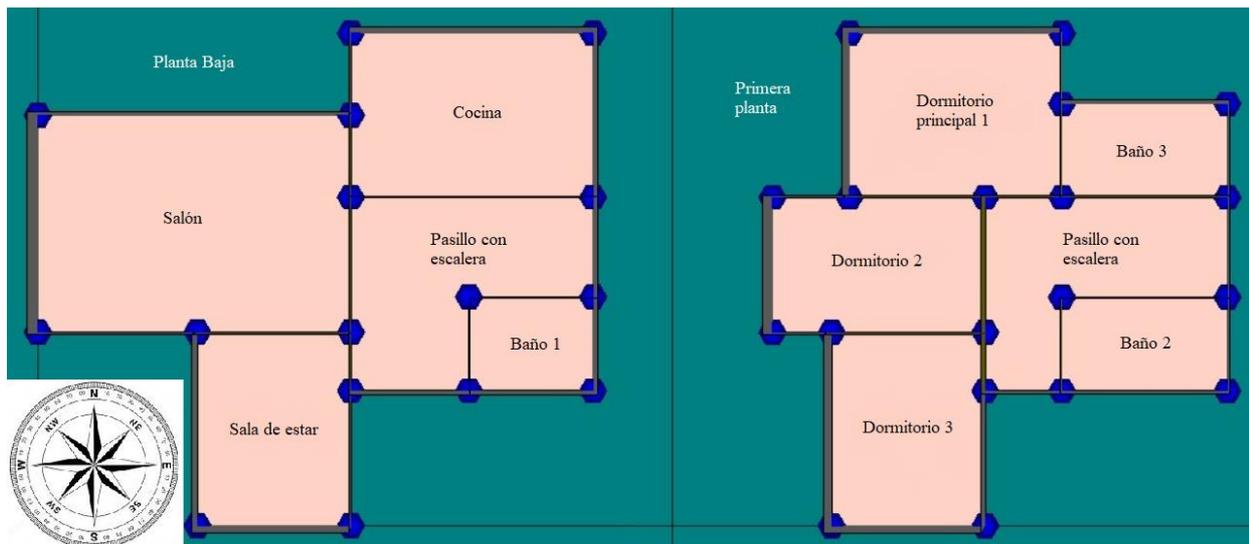


Figura 3-2. Vista en planta de la planta baja (izquierda) y la primera planta (derecha)

En la planta baja existen 5 espacios con distintas finalidades y dimensiones:

- 1 pasillo con escalera → 10.17 m²
- 1 salón → 19.61 m²
- 1 sala de estar → 8.58 m²
- 1 cocina → 11.48 m²
- 1 baño → 3.36 m²

En cambio, en la primera planta existen 6 espacios:

- 1 pasillo con escalera → 9.05 m²
- 1 dormitorio principal → 10.08 m²
- 2 dormitorios → sur: 8.58 m²; oeste: 8.28 m²
- 2 baños → 4.48 m²

Es esencial saber desde el principio cuáles son las zonas acondicionadas de la vivienda. En este caso corresponden a 5 zonas que son: el salón, la sala de estar, los dos dormitorios y el dormitorio principal. El área de la zona acondicionada total de la vivienda es de 55.13 m².

Como se ha dicho anteriormente la vivienda es pareada, es decir, la fachada de orientación Este colinda con una vivienda distinta y simétrica a ésta. También es importante recalcar que la vivienda objeto de estudio tiene una peculiaridad significativa y ésta se encuentra en la forma que tienen los tejados inclinados. Lo que ha supuesto un trabajo añadido en la modelización de ésta en HULC como se verá en el capítulo 4 Modelaje de la Situación Inicial en HULC.

3.1.1 Elementos constructivos en la situación inicial

La envolvente térmica (ir a índice de conceptos) es esencial a la hora de hacer un estudio energético de un edificio. En este apartado se describen cada uno de los elementos constructivos de los que está compuesta la vivienda de la situación inicial ya formen parte de la envolvente térmica o no. Estos a su vez están formados por una serie de capas cuyas características son diferentes entre sí. Estas son, entre otras, el material, el espesor y la conductividad.

La vivienda unifamiliar está formada por 10 elementos constructivos distintos: Cubierta inclinada, forjado, medianera, muro exterior, suelo, tabique, ventana y puerta. Si se desea conocer cada una de las capas de éstos y sus características con mayor detalle, consultar el anexo 12.1 Elementos constructivos en la situación inicial en la página 55.

4 MODELAJE DE LA SITUACIÓN INICIAL EN HULC

Toda existencia individual está determinada por innumerables influencias del ambiente humano.

- Georg Simmel-

En este capítulo se describirá paso a paso los datos introducidos y el modelaje de la vivienda en HULC para la verificación del CTE-HE.

4.1 Datos generales

La vivienda unifamiliar que se quiere rehabilitar energéticamente está dentro de la denominación edificio existente al que se le pretende hacer una reforma mayor de un 25% en la envolvente, sistema de climatización y ACS. Dicha vivienda unifamiliar se encuentra localizada en la provincia de Sevilla, zona climática B4, a unos 130 m de altitud sobre el nivel del mar.

El caudal de ventilación mínimo requerido por el edificio se calcula en base a la

Tabla 4-1, la cual se ha obtenido del Documento Básico de Salubridad (HS), sección HS3 Calidad del aire interior. Para este cálculo, se coge el máximo valor de caudal de aire entre el correspondiente a los locales secos y a los locales húmedos. En el caso particular objeto de estudio, existe 1 dormitorio principal, 2 dormitorios, 2 salas de estar, y 4 zonas húmedas. Hay que saber que el caudal mínimo calculado en locales húmedos ($4 \times 8 \text{ l/s} = 32 \text{ l/s}$) al ser menor que el mínimo total reglamentario (33 l/s), se coge este último para hacer la comparativa. En cambio, para los locales secos se necesita ($1 \times 8 \text{ l/s} + 2 \times 4 \text{ l/s} + 2 \times 10 \text{ l/s} = 36 \text{ l/s}$). Por lo que el máximo de ambos tipos de locales y, por lo tanto, el ACH_{nom} del edificio es de 36 l/s.

Tabla 4-1. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los *locales* secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo *local* se den usos de *local* seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros *locales* pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

4.2 Definición geométrica

Para trazar los planos DXF de la vivienda unifamiliar, se ha hecho necesario el uso del software AutoCAD. Se han creado 3 planos; uno para la planta baja, otro para la primera planta y un tercero para la segunda planta no habitable pero necesaria para la inserción del tejado inclinado. Estos se muestran en el anexo 12.2 Planos DXF diseñados con AutoCAD en la página 57.

Los planos DXF se importan a través de HULC de forma que sirve como apoyo para construir automáticamente los espacios, sin necesidad de crear ni dar coordenadas de los vértices que es un procedimiento más tedioso. Por su parte, las plantas baja y primera tienen una altura de 3.1m, mientras que la segunda planta tiene una altura virtual de 0.54m cuyo cálculo se ha obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Altura virtual} = \text{Volumen real calculado} / \text{Superficie real calculada} \quad (4-1)$$

Para la creación de los tejados inclinados, se han dibujado líneas auxiliares como se puede apreciar en la Figura 4-1. Todos los tejados tienen una inclinación de 20° pero cada uno posee unas dimensiones y alturas diferentes.

Además, también se han añadido en el modelaje de la vivienda, los obstáculos remotos que proyectan diferentes sombras sobre la fachada a lo largo del día. Estas se presentan como superficies de color negro en la Figura 4-1 y representan elementos existentes en la vivienda real, como son una chimenea frente a la fachada Oeste, un tejado en la entrada delantera y otro en porche trasero. Por último, se han colocado las ventanas y puertas correspondientes en la fachada de la vivienda.

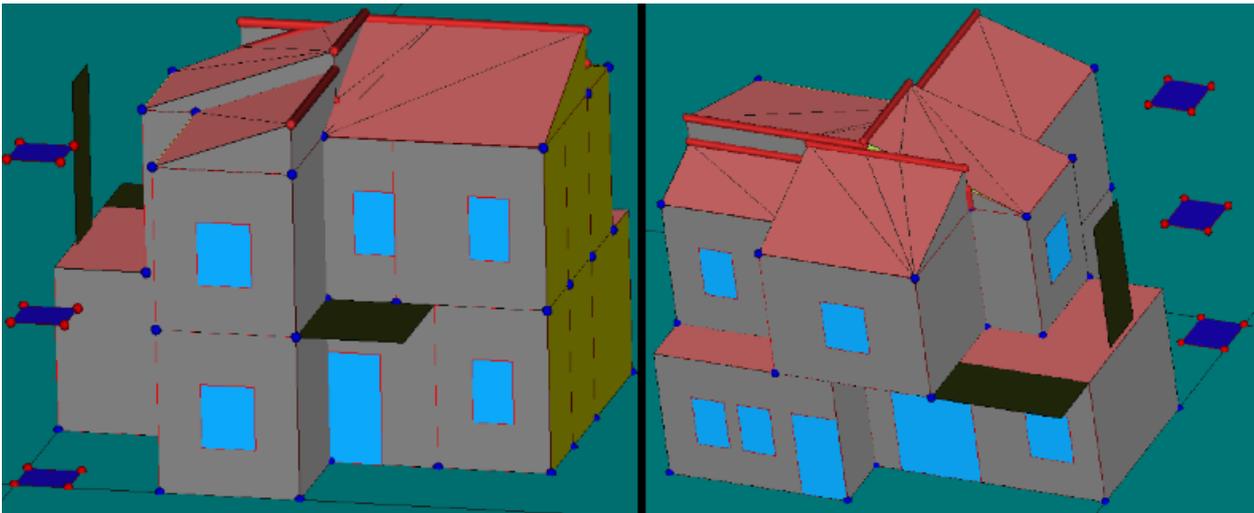


Figura 4-1. Vista delantera (izquierda) y trasera de la vivienda (derecha)

4.3 Definición de sistemas

Los equipos de calefacción y refrigeración de la vivienda en la situación inicial corresponden a los equipos de sustitución que HULC estipula por defecto y que se muestran en la Tabla 4-2. Para cubrir la demanda de calefacción se considera un equipo de COP=0.92 cuyo vector energético es el Gas Natural. En cambio, para cubrir la demanda de refrigeración se tiene un equipo de EER=2 cuyo vector energético es la electricidad. (Ir a índice de conceptos).

Tabla 4-2. Sistemas de referencia

Tecnología	Vector energético	Rendimiento nominal
Producción de calor y ACS	Gas natural	0,92 (PCS)
Producción de frío	Electricidad	2,60

Por otro lado, para cubrir la demanda de ACS, la vivienda unifamiliar dispone de una caldera convencional con un rendimiento nominal del 0.9 y cuyo combustible es butano (GLP).

Para calcular la capacidad total de dicha caldera echamos mano de la siguiente ecuación:

$$Q[\text{kW}] = m \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * C_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{K} * \text{kg}} \right] * (T_{\text{consigna}} - T_{\text{red}})[\text{K}] \quad (4-2)$$

Sabiendo que:

Cp del agua= 4.184 kJ/(K*kg)

Temperatura de consigna=60 °C

Temperatura de la red =15.4 °C (Lo pone por defecto el programa según la zona climática)

Y basándonos en la ficha técnica de la caldera, el caudal del que dispone es de 10 litros/min.

Sustituyendo los datos en la ecuación (4-2), sale como resultado una capacidad total de potencia transmitida de aproximadamente 30 kW.

Además, también se necesita calcular la demanda diaria de agua. Para ello, se utiliza la Tabla 4-3 obtenido del Documento Básico de ahorro de Energía (DB-HE), Anejo F Demanda de referencia de ACS.

En el caso objeto de estudio, existen 3 dormitorios por que corresponde a un mínimo de ocupación de 4 personas. Haciendo un pequeño calculo, se obtiene una demanda de ACS de 112 litros/día.

Tabla 4-3. Valores mínimos de ocupación en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

La demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día-persona (a 60°C), una ocupación al menos igual a la mínima

4.4 Resultados de HULC para la Vivienda Unifamiliar en la situación inicial

Tras la definición constructiva y operacional de la vivienda unifamiliar, se analizan los resultados que proporciona HULC.

4.4.1 Demanda

En la Figura 4-2, se muestran los valores de demanda de calefacción y refrigeración mediante la simulación en HULC en la situación inicial de la vivienda. Se puede observar que la demanda de calefacción inicial es de 91.90 kWh/m²·año y la de refrigeración de 35.28 kWh/m²·año. Estas demandas serán reducidas una vez realizada la rehabilitación energética del edificio.

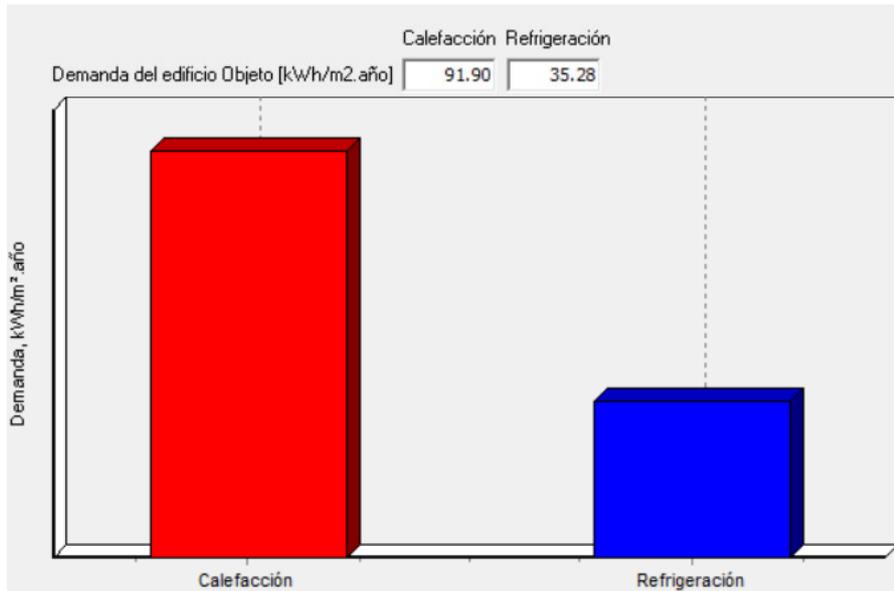


Figura 4-2. Demanda de calefacción y refrigeración en la situación inicial mediante simulación en HULC

4.4.2 CTE-HE-1

En la Figura 4-3, se muestran los resultados de HULC en relación con la calidad térmica de la envolvente del edificio en la situación inicial. Los parámetros característicos que la definen son el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica del edificio, K, el parámetro de control solar, q_{sol} en Julio, y la relación del cambio de aire, n_{50} . (Ir a índice de conceptos). Además, en dicha figura se plasman los límites máximos reglamentarios y si se cumplen o no.

En la situación inicial de la vivienda unifamiliar se puede apreciar que dichos parámetros característicos no cumplen el límite que marca la norma por lo que se hace necesaria una rehabilitación energética de la envuelta para que cómo mínimo se cumplan dichos límites. En cuanto al cumplimiento del n_{50} límite no se aplica en este caso, ya que, según el HE-1, solo es requisito cuando la superficie útil sea menor de 120 m².

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	2.26	0.83	NO CUMPLE
Control solar, q_{sol} jul [kWh/m².mes]	6.79	2.00	NO CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n_{50} [1/h]	9.63	-	NO APLICA

Figura 4-3. Verificación HE-1 en la situación inicial mediante simulación en HULC

Estos límites reglamentarios se contemplan en el HE-1 como se exponen en la Tabla 4-4, Tabla 4-5 e Tabla 4-6. Con un círculo rojo se señalan los límites particularizados para el caso que se estudia, sabiendo previamente que la compacidad (V/A) de esta vivienda unifamiliar es de 1,08 m³/m² (dato proporcionado por HULC), que está situada en zona climática B y que nuestro objetivo es reformar más del 25% de la superficie total de la envuelta.

Tabla 4-4 . Klim [W/m²K] para uso residencial privado (HE-1)

	Compacidad V/A [m ² /m ²]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Tabla 4-5. q_{sol,jul} límite en julio [kWh/m²*mes] (HE-1)

Uso	q _{sol,jul}
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Tabla 4-6. n₅₀ límite [h-1]

Compacidad V/A [m ² /m ²]	n ₅₀
V/A ≤ 2	6
V/A ≥ 4	3

4.4.3 CTE-HE-0

En la Figura 4-4, se muestran los resultados de HULC en relación con la limitación del consumo energético en la situación inicial. Los parámetros característicos que la definen son el consumo de energía primaria no renovable, $C_{ep,nren}$, y el consumo de energía primaria total, $C_{ep,tot}$. Otro parámetro a tener en cuenta es el número total de horas fuera de consigna, ya que, según el HE-0 no puede exceder el 4% del tiempo total de ocupación. Además, en dicha ilustración se plasman los límites máximos reglamentarios y si se cumplen o no.

En la situación inicial de la vivienda unifamiliar se puede apreciar que dichos parámetros característicos no cumplen el límite que marca la norma por lo que se hace necesaria mejora en los equipos de climatización.

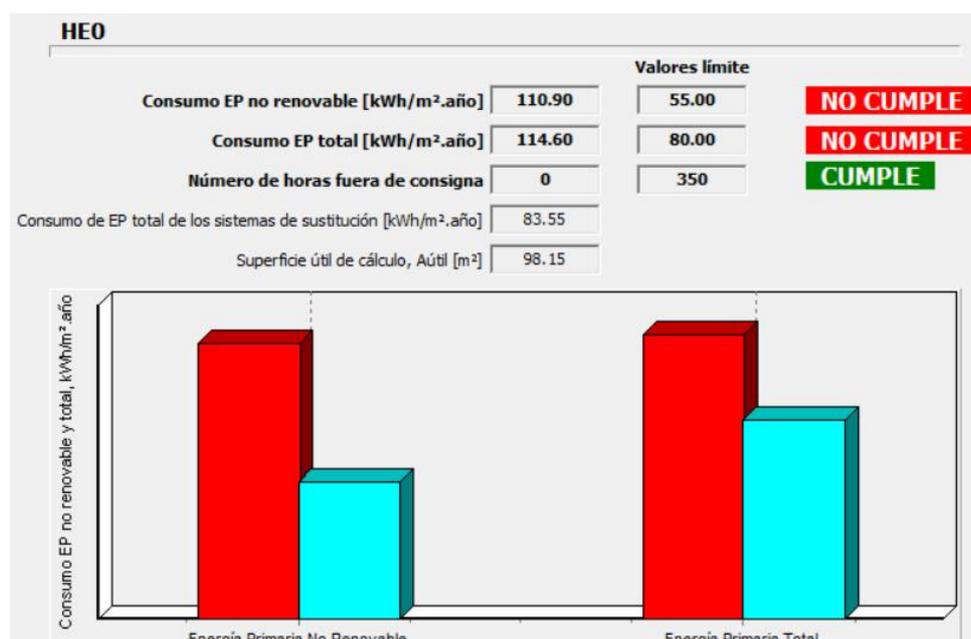


Figura 4-4. Verificación HE-0 en la situación inicial mediante simulación en HULC

Estos límites reglamentarios se contemplan en el HE-0 como se exponen en la Tabla 4-7 y Tabla 4-8. Con un círculo rojo se señalan los límites particularizados para el caso que se estudia.

Tabla 4-7. $Cep,nren,lim$ [$kW*h/m*año$] para uso residencial privado (HE-0)

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

Tabla 4-8. Cep,tot,lim [$kW*h/m2*año$] para uso residencial privado (HE-0)

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

4.4.4 CTE-HE-4

En la Figura 4-5, se muestra el resultado de HULC en relación con la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS. El parámetro característico que la define es la fracción renovable del consumo de ACS. El HE-4 exige un 60% en los casos de demanda de ACS inferior a 5000 l/d. Se puede apreciar que la vivienda en la situación inicial no la cumple por lo que se hace necesario implementar una instalación solar térmica.

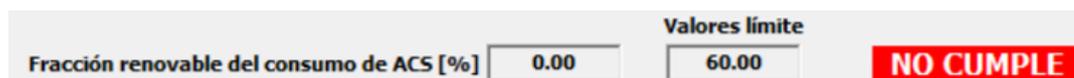


Figura 4-5. Verificación HE-4 en la situación inicial mediante simulación en HULC

4.5 Parámetros característicos a nivel de componentes en la situación inicial

4.5.1 Transmitancia térmica

En la Tabla 4-9 y Tabla 4-10 se muestran de forma detallada los parámetros característicos a nivel de componentes de los puentes térmicos y de la envuelta, respectivamente. Estos datos se han sacado de HULC tras la simulación de la vivienda en la situación inicial.

Tabla 4-9. Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos en la situación inicial

Tipo de puente térmico	Longitud [m]	Ψ Base [W/mK]
Frente de forjado	39.60	0.70
Forjado de cubierta	92.77	0.96
Forjado de suelo al exterior	7.40	0.68
Esquina saliente	33.86	0.11
Esquina entrante	19.51	-0.16
Contorno de huecos (ventanas)	65.74	0.571
Pilar	1	1.20
Union entre solera y pared exterior	25.63	0.49
$\sum \Psi * L$		173.71

En los puentes térmicos de las viviendas unifamiliares, por donde más se disipa energía es por el forjado de cubierta (suele ser entorno al 25% de las pérdidas debidas a puentes térmicos) y por las ventanas (suele ser entorno al 36.8% de las pérdidas debidas a puentes térmicos).

Tabla 4-10. Transmitancia térmica de la envuelta del edificio en la situación inicial

Valor [W/m ² *K]	Umuros	Ucubierta	Usuelos	Uventanas	Upuerta
Actual	0.82	3.1	1.06	5.7	5.7
Mínimo	0.56	0.44	0.75	2.3	5.7

Se puede observar cómo, exceptuando la puerta, no se cumplen los límites reglamentarios de transmitancia térmica de los elementos de la envuelta. Estos valores mínimos se han extraído de la HE-1, y están recopilados en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11. Ulim [W/m²*K] (HE-1)

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_m)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{m0})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			

4.5.2 Ventilación e infiltración

Entre los resultados de la simulación de HULC en la situación inicial están los parámetros siguientes:

(Ir a índice de conceptos)

$$ACH_{nom} = 36 \left[\frac{l}{s} \right] = \frac{129.6 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{\text{Volumen habitable} [m^3]} = 0.48 \frac{\text{ren}}{h}$$

Donde:

$$\text{Volumen habitable} = 269.09 m^3$$

$$ACH_{eq} = 0.63 \frac{\text{ren}}{h}$$

$$N_{50} = 9.63 \left[\frac{\text{ren}}{h} \right]$$

Como se ha visto en la subsección 4.4.2, el valor límite del n50 es de 6 ren/h (si hubiese que cumplir dicho requisito).

4.5.3 Ganancias solares en verano

Entre los datos introducidos en HULC en la situación inicial se sabe que el valor del factor solar de las ventanas es el siguiente:

$$g_{\text{ventana}} = 0.77$$

Con este valor del factor solar, la simulación de la situación inicial en HULC da como resultado que el control solar valga:

$$q_{\text{sol;jul}} = 6.79 \left[\frac{\text{kWh}}{m^2} \right] \text{ en julio}$$

4.6 Parámetros característicos a nivel de edificio en la situación inicial

La simulación de la situación inicial en HULC genera el valor de los siguientes parámetros característicos que se muestran en la Tabla 4-12 y Tabla 4-13, en modo calefacción y refrigeración, respectivamente.

Los límites que aparecen en dichas tablas, en su mayoría es fruto de los distintos estudios realizados por Termotecnia en el marco de la transposición de la EPBD en España. Exceptuando los límites superiores marcados en rojo que lo establece el CTE, directamente como el Klim y el n50 límite, o indirectamente como el ASSE/Aa julio cuyo valor límite sale de despejar en la siguiente fórmula:

$$q_{\text{sol;jul;lim}} \left[\frac{\text{kWh}}{m^2 \cdot \text{mes}} \right] = \frac{ASSE_{\text{julio}}}{Aa} \cdot I_{\text{sur}} \left[\frac{\text{kWh}}{m^2} \right] \cdot b_{\text{ver}} \quad (4-3)$$

Sabiendo que:

$$q_{\text{sol;jul;lim}} = 2 \left[\frac{\text{kWh}}{m^2 \cdot \text{mes}} \right]$$

$$I_{\text{sur}} = 93.95 \left[\frac{\text{kWh}}{m^2} \right]$$

$$b_{\text{ver}} = 0.55$$

Por otro lado, en color verde se destaca el valor límite más favorable.

Tabla 4-12. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo calefacción situación inicial

Concepto	Particularizado	Límite inferior	Límite superior
V/At unifamiliar	1.08	1	2.5
Um (W/m ² *K) zona B	2.26	0.4	0.83
ΔUm) pt	0.58	0.15	0.5
ASSE/Aa enero	0.041	0.04	0.2
ACHnom	0.48	0.4	0.6
n50	9.63	1	6
ACHeq	0.63	0.2	0.8
Factor utilización	-	0.6	1

Tabla 4-13. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo refrigeración situación inicial

Concepto	Particularizado	Límite inferior	Límite superior
ASSE/Aa julio	0.081	0.001	0.039
ACHnoche espacios ocupados	4	6	15
ACHnoche espacios no ocupados	4	15	40
Eficiencia de intercambio	0.4	0.3	0.6
Factor de utilización	-	0.5	0.8

5 PROPUESTAS DE MEJORA DE LA ENVOLVENTE

El camino hacia la riqueza depende fundamentalmente de dos palabras: trabajo y ahorro.

- Benjamin Franklin -

En este capítulo se explicará con detalle las posibles mejoras y la razón por la que estas reducen la demanda tanto de calefacción como de refrigeración.

En primer lugar, para disminuir la D_C en régimen de calefacción hay dos grandes posibilidades, reducir las pérdidas o aumentar las ganancias en invierno.

Para reducir las pérdidas por conducción, hay que disminuir la transmitancia térmica de muros, cubiertas, suelos, ventanas, puertas; y la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos como se detallará en la sección 5.1.

Para reducir las pérdidas debido a la entrada de aire exterior, se debe disminuir el $ACH_{equivalente}$ como se explicará en la sección 5.2.

Para aumentar las ganancias solares hay que hacer el F_s sea grande, es decir, que haya menos sombra sobre los huecos. (Ir a índice de conceptos). Esta medida colateralmente hace aumentar la D_R , por lo que se utilizarán sombras móviles.

En segundo lugar, para disminuir la D_R en régimen de refrigeración existen dos grandes posibilidades, reducir las ganancias o aumentar las pérdidas en verano.

Para reducir las ganancias solares, como se ha dicho anteriormente, hay que hacer el F_s pequeño, es decir, que haya más sombra proyectada sobre los huecos como se detallará en en la sección 5.3.

Para aumentar las pérdidas por ventilación nocturna, se debe aumentar el ACH_{noche} como se explicará en la sección 5.4.

En cuanto a las ganancias o pérdidas por conducción y entrada de aire exterior producidas a lo largo del día se consideran despreciables en el procedimiento simplificado. Esto es debido a que los GD en verano es un número pequeño, ya que, la temperatura exterior media durante las 24 horas del día es muy parecida a la temperatura interior de consigna.

En cuanto a las ganancias producidas por fuentes internas dependen de la ocupación y este parámetro no se puede variar.

Esta explicación se ve fundamentada en las ecuaciones analíticas expuestas en la sección 6.1.

5.1 Mejoras en las transmitancias térmicas

En la Tabla 5-1 se expone de forma resumida cada una de las posibles mejoras de la transmitancia térmica que se han propuesto. Hay tres mejoras posibles en este ámbito. La primera opción es reducir las transmitancias de cada componente al valor mínimo reglamentario. Se debe añadir aquí que el HE-1 dice que no es obligatorio cumplir los mínimos de cada elemento sino el global del conjunto. La segunda opción es reducir las transmitancias hasta los valores orientativos que marca el CTE-HE en el Anejo E y que se muestra en la Tabla 5-2. Y la tercera opción y última consiste en reducir las transmitancias térmicas hasta los valores de alta eficiencia establecidos por el Grupo Termotécnica.

Tabla 5-1. Posibles mejoras de la transmitancia térmica en la envuelta

	Valor [W/m ² *K]	Umuros	Ucubierta	Usuelos	Uventanas	Upuerta
	Inicial	0.82	3.1	1.06	5.7	5.7
U Mejora 1	Mínimo	0.56	0.44	0.75	2.3	5.7
U Mejora 2	Orientativo	0.38	0.33	0.69	2	5.7
U Mejora 3	Alta eficiencia	0.27	0.21	0.32	2	5.7

Tabla 5-2. Valores recomendados por el CTE-HE

	Zona Climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_M, U_S	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_c	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_T	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_H	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

En la Tabla 5-3 se expone las dos posibles mejoras que se han contemplado. La primera hace disminuir la transmitancia térmica lineal un 75% y la segunda opción un 77%.

Tabla 5-3. Posibles mejoras de la transmitancia térmica lineal

Tipo de puente térmico	Longitud	TTL Inicial	TTL mejora 1	TTL mejora 2
Frente de forjado	39.60	0.70	0.19	0.19
Forjado de cubierta	92.77	0.96	0.24	0.24
Forjado de suelo al exterior	7.40	0.68	0.22	0.22
Esquina saliente	33.86	0.11	0.11	0.11
Esquina entrante	19.51	-0.16	-0.15	-0.15
Contorno de huecos (ventanas)	65.74	0.571	0.1	0.05
Pilar	1	1.20	0.2	0.2
Union entre solera y pared exterior	25.63	0.49	0.15	0.15
$\sum \Psi * L$		173.71	42.83	39.55

5.2 Mejoras en ventilación e infiltración

En la Tabla 5-4 se recopilan los valores de ACHnom, N50 y ACHeq de las tres posibles mejoras.

Tabla 5-4. Posibles mejoras de ventilación e infiltración

	Valor [ren/h]	ACHnom	N50	ACHeq
	Inicial	0.48	9.63	0.63
ACHeq Mejora1	Permeabilidad ventanas	0.48	3	$(0.54+0.48)/2=0.51$
ACHeq Mejora2	Permeabilidad + presencia (Doble flujo)	0.48/0.24/0.12	3	0.4
ACHeq Mejora3	Permeabilidad + recuperador (Doble flujo)	$0.48 \times (1-0.8) = 0.1$	3	$0.1 + (0.25 + 0) / 2 = 0.23$

La primera mejora consiste en mejorar la permeabilidad de las ventanas de forma que el N50 se reduzca hasta $3h^3$. Como se ha explicado anteriormente el ACHnom se ha calculado y está dictado por el HS3. Para el cálculo del ACHeq se supone solo extracción y se hace la media entre el valor a velocidad nula y velocidad igual a 4m/s. Para el caso de velocidad nula se sabe que $ACHeq = ACHnom$ y para el otro caso se obtiene del diagrama de la Figura 5-1.

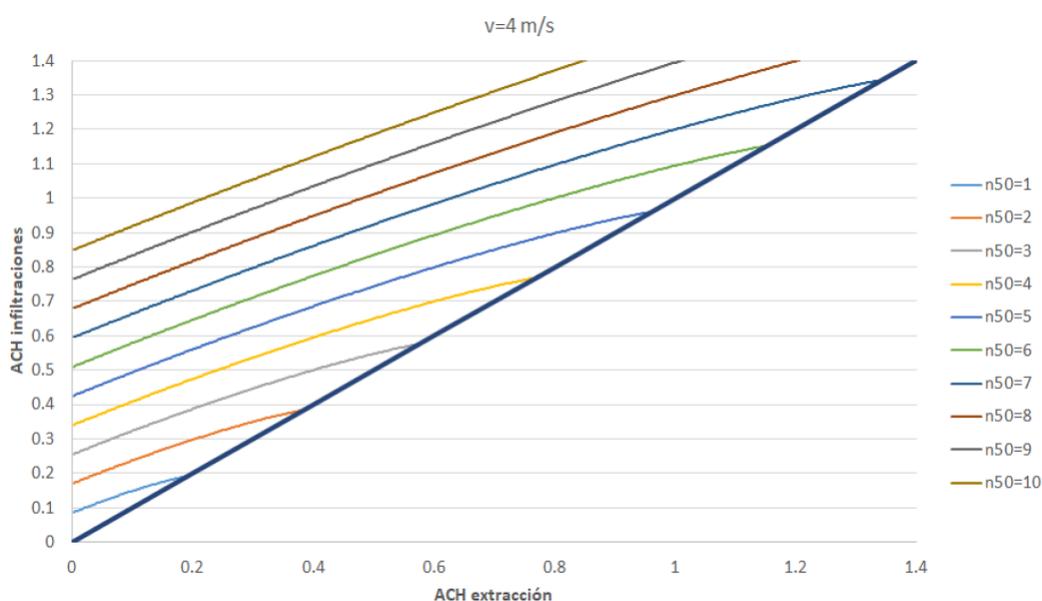


Figura 5-1. Diagrama ACHeq en función de ACHextracción para $v=4m/s$

La segunda mejora consiste en añadir a la mejora número 1 un control de presencia. Se utiliza la Tabla 5-5 sacada del anejo D del CTE-HE para saber el horario de ocupación que HULC establece por defecto en las viviendas. Con esta tabla se puede deducir que durante 8 horas hay 1 persona, 2 personas y 4 personas. En este caso, es una situación donde existe impulsión y extracción. En la Tabla 5-6 se calcula detalladamente el ACHeq dependiendo de la ocupación. El ACHeq no es más que la suma de la impulsión y del aire infiltrado. El aire impulsado es del mismo valor que ACHnom y el aire infiltrado es resultado de la media entre la situación con velocidad nula e igual a 4m/s. En este caso se está ante una situación de infiltración y extracción, por lo que, con velocidad nula, el aire que se infiltra es también nulo y, con velocidad 4m/s, el aire que se infiltra es el que se saca del diagrama de la Figura 5-2.

Finalmente, el resultado de la mejora 2 es el promedio siguiente: $ACH_{eq} = (0.24+0.33+0.63) / 3 = 0.4 \text{ ren/h}$

Tabla 5-5. Horario de ocupación de la vivienda

Carga interna W/m ²	0:00 - 6:59	7:00 - 14:59	15:00 - 17:59	18:00 - 18:59	19:00 - 22:59	23:00 - 23:59
Ocupación (sensible) L	2,15	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
S y F	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15

Tabla 5-6. Mejora número 2 de ventilación/infiltración

Valor [ren/h]	ACHnom	ACH _{v=4m/s}	ACH _{eq}
1 persona	0.12	0.25	$0.12+(0.25+0)/2=0.245$
2 personas	0.24	0.25	$0.24+(0.25+0)/2=0.365$
4 personas	0.48	0.25	$0.48+(0.25+0)/2=0.605$

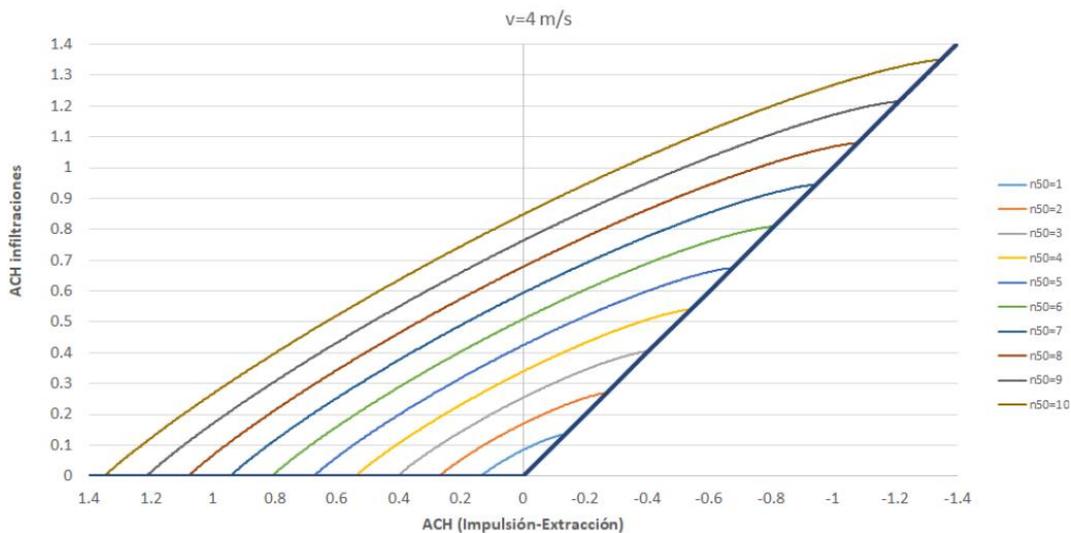


Figura 5-2. Diagrama ACHinfiltraciones en función de ACH (impulsión-extracción) para v=4m/s

La tercera y última mejora consiste en añadir un recuperador de rendimiento 0.8 a la mejora número 1, por lo que se reduce el ACHnom como se ha detallado en la Tabla 5-4.

5.3 Mejoras de las ganancias solares en verano

En la Tabla 5-7 se muestra las dos posibles mejoras con respecto a reducir las ganancias solares en verano.

En el primer caso, se propone poner toldos en todas las ventanas de la vivienda. Los toldos reducen el factor solar un 70% en la ventana que se coloque.

La segunda posibilidad de mejora consiste en poner lamas en las ventanas de orientación sur y norte. Estas lamas reducen un 80% el factor solar.

Tabla 5-7. Posibles mejoras en ganancias solares

Valor g	Sur	Norte	Oeste
Inicial	0.77	0.77	0.77
g_ver mejora 1: Toldos	0.23	0.23	0.23
g_ver mejora 2: Lamas (Sur y Norte)	0.16	0.16	0.77

Se han propuesto estas dos opciones pensando que cumplan la exigencia del reglamento, que obliga a que el q_{sol} en julio sea como máximo de 2 kWh/m².

Se ha despejado el $ASSE_{julio}$ de la ecuación (4-3) ya explicada en la sección 4.6, saliendo como resultado 2.34. Posteriormente se ha despejado los correspondientes factores solares (g) de la siguiente ecuación (5-1):

$$ASSE_{julio}[m^2] = A_{ventana}[m^2] \cdot \text{Factor Área Sur Equivalente} \cdot g \cdot F_s \quad (5-1)$$

5.4 Mejoras de la ventilación nocturna

En la Tabla 5-8 se puede ver las dos posibles mejoras propuestas. La primera mejora consiste en aumentar el $ACH_{nocturno}$ hasta 8 ren/h y la segunda mejora en aumentarla hasta 10 ren/h.

Tabla 5-8. Posibles mejoras en ventilación nocturna

Valor [ren/h]	Inicial	Mejora 1	Mejora 2
$ACH_{nocturno}$	4	8	10

6 EXPRESIONES ANALÍTICAS PARA CARACTERIZAR LA ENVUELTA DE LA VIVIENDA

Por medio de la paciencia no hay nada que no se pueda lograr.

- Lao Tsé -

En este capítulo se va a sacar el valor de los coeficientes correctores que se utilizarán posteriormente para el cálculo de las demandas de cada una de las situaciones mejoradas sin necesidad de simulaciones en HULC.

6.1 Caracterización del edificio mediante expresiones analíticas

Las siguientes ecuaciones, sacadas de la UNE-EN ISO 52016-1:2017, caracterizan, tanto en verano como en invierno, la transmisión de calor que padece la vivienda ya sean ganancias o pérdidas. Este es el procedimiento simplificado para calcular las demandas, el cual está corregido por los coeficientes correctores resaltados en rojo para que se asemeje al procedimiento detallado sin necesidad de hacerlo. El procedimiento detallado es la forma más fiel a la realidad, pero es inviable realizarlo por el gran número de ecuaciones que conlleva.

- Para calefacción:

$$D_c = P - G \cdot \eta \quad (6-1)$$

La demanda de calefacción se calcula como las pérdidas menos las ganancias multiplicadas por el factor de utilización como se muestra en la ecuación 6-1. (Ir a índice de conceptos).

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \varphi_j \cdot l_j + \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot \alpha \cdot GD \cdot 24 \quad (6-2)$$

La ecuación 6-2 representa las pérdidas por transmisión y ventilación sanitaria. El primer y segundo término son las pérdidas por conducción hacia el exterior, y el tercer término el correspondiente a las pérdidas causadas por la entrada de aire exterior.

$$Q = (b \cdot \sum_{i=1}^{no} I_i \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \varphi \cdot t) \cdot \eta \quad (6-3)$$

La ecuación 6-3 representa las ganancias solares e internas debidas al factor solar y las fuentes internas.

- Para refrigeración:

$$D_R = G - P * \eta \quad (6-4)$$

La demanda de refrigeración se calcula como las ganancias menos las pérdidas multiplicadas por el factor de utilización como se muestra en la ecuación 6-4.

$$Q = (b \cdot \sum_{i=1}^{no} I_i \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \varphi_a \cdot t) \quad (6-5)$$

La ecuación 6-5 representa las ganancias solares e internas debidas al factor solar y las fuentes internas.

$$Q = (\rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{noche} \cdot V) \cdot GD_{noche} \cdot 24 \cdot \varepsilon \cdot \eta \quad (6-6)$$

La ecuación 6-6 representa las pérdidas netas por ventilación nocturna. La letra épsilon es la eficiencia del edificio. (Ir a índice de conceptos).

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \varphi_j \cdot l_j + \rho_a \cdot c_{pa} \cdot ACH_{eq} \cdot V \right) \cdot a_r \cdot GD \cdot 24 \quad (6-7)$$

La ecuación 6-7 representa la transmisión y ventilación sanitaria. El primer y segundo término es la transmisión por conducción, y el tercer término el correspondiente a la entrada de aire exterior.

6.1.1 Particularización de ecuaciones para la vivienda en la situación inicial

Tras plantear las ecuaciones que definen el comportamiento térmico del edificio, se sustituyen en ellas los valores que se conocen hasta el momento que son: las demandas calculadas por HULC en la situación inicial y los parámetros característicos de forma que se puedan despejar los coeficientes correctores. Realizando este procedimiento los coeficientes correctores tienen los valores que muestra la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Coeficientes correctores

a_inv	b_inv	τ_inv	a_ver	b_ver	τ_ver	ε
0.59	0.61	48	0.3	0.55	48	0.4

6.1.2 Particularización de ecuaciones para la vivienda en las situaciones mejoradas

Estos mismos valores de los coeficientes correctores son los que se utilizan para estas ecuaciones cuando se particularizan para cada una de las mejoras. De esta forma se pueden calcular las demandas de calefacción y refrigeración en cada uno de los casos de mejora sin necesidad que simularlos en HULC.

6.1.3 Evaluación económica de las propuestas de mejora de la envuelta

Cada una de las mejoras propuestas en el capítulo 5 tienen un coste determinado que se formula a continuación y que están sacado de documentación del Grupo Termotecnia:

El sobrecoste del aislamiento en muros es:

$$2.7325 \cdot R_{aislante} + 2.004 [\text{€/m}^2]$$

Siendo:

$$R_{aislante} = \frac{1}{U_{mejorado}} - \frac{1}{U_{inicial}}$$

El sobrecoste del aislamiento en cubiertas es:

$$1.7019 \cdot R_{aislante} + 1.948 [\text{€/m}^2]$$

El sobrecoste del aislamiento en suelos es:

$$4.135 \cdot R_{aislante} + 2.38 [\text{€/m}^2]$$

El coste de las ventanas en la situación inicial y en sus mejoras está determinado por:

$$309.3 \cdot U_{ventana}^{-0.305} [\text{€/m}^2]$$

El sobrecoste del aislamiento de puentes térmicos es:

TTL Mejora 1: 6€/m lineal

TTL Mejora 2: 7€/m lineal

Siendo:

L_{pt}=285.51m

El sobrecoste de mejora en ventilación/infiltración es:

ACH Mejora 1: 60 €/m² ventana

ACH Mejora 2: 60 €/m² ventana + 600 €

ACH Mejora 3: 60 €/m² ventana + 3000 €

El coste de las mejoras de las ganancias solares en verano es:

Toldo que reduce la g un 70% cuesta 97.2€/m²

Las lamas reducen la g un 80% cuestan 99.43€/m²

Hay que saber que en la situación inicial este valor es nulo, ya que, no existe ningún elemento de sombra.

El coste inicial de ventilación mecánica nocturna es:

ACHnoc inicial= 3.2€/m²

El coste de las mejoras de ventilación mecánica nocturna:

ACHnoc Mejora 1: 6.4 €/m²

ACHnoc Mejora 2: 8 €/m²

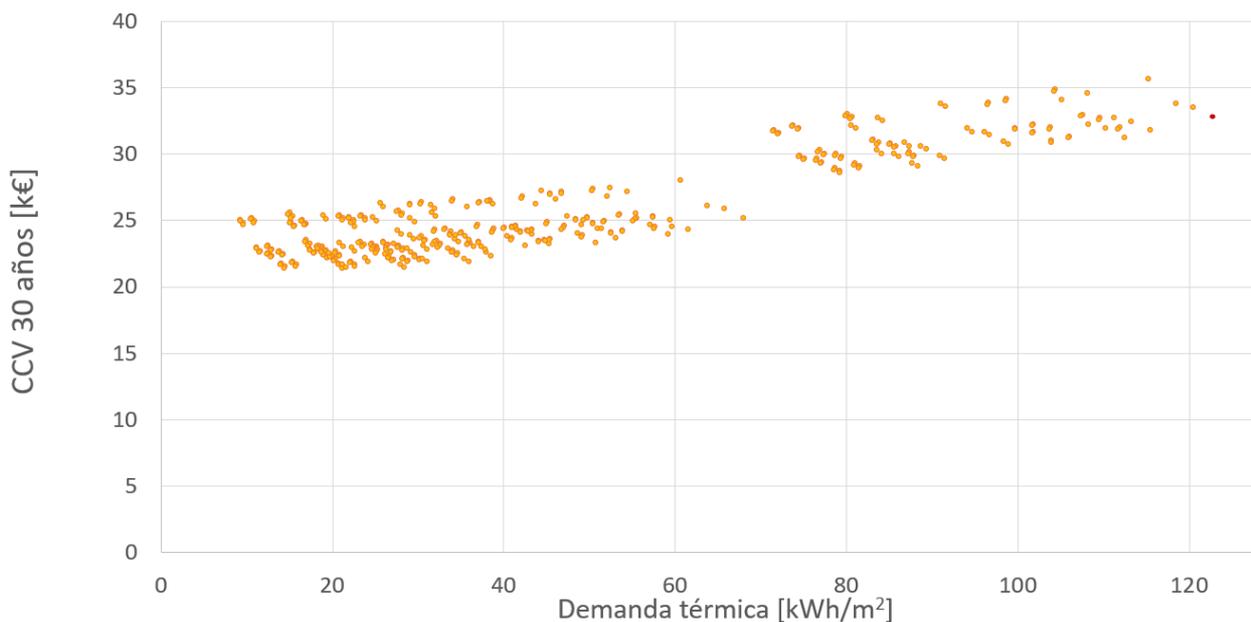
Para calcular el CCV de las mejoras de la envuelta se utiliza la ecuación 6-8, siendo los costes de operación (O) los referentes al consumo de calefacción, refrigeración y ACS en cada uno de los casos.

$$CCV[€] = \text{Sobrecoste} + O \cdot \left(\frac{(1+i)^{(n-1)}}{i \cdot (1+i)^n} \right) \quad (6-8)$$

6.1.4 Envuelta óptima

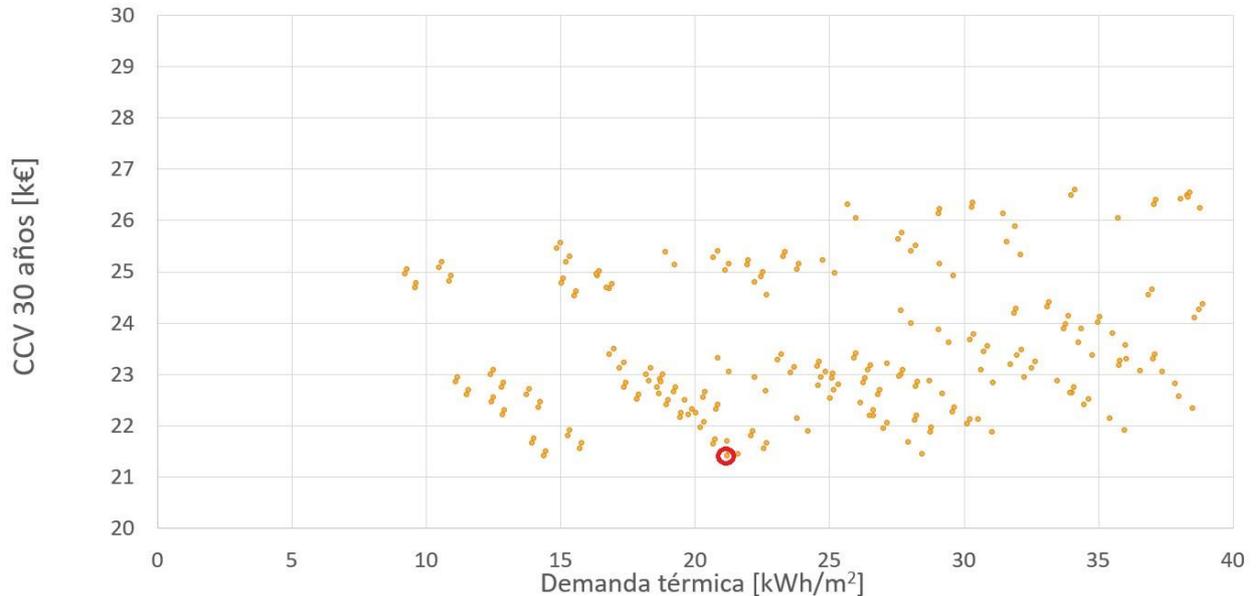
En la Figura 6-1 se representa en una gráfica cada una de las combinaciones que se pueden realizar con las mejoras de la envolvente propuestas.

Figura 6-1. Representación de las mejoras de la envolvente



En la Figura 6-2, se hace un zoom de la anterior para ver con mayor claridad los paquetes de mejoras con menor Coste de Ciclo de Vida (CCV). Este coste se ha calculado con los datos de la subsección anterior.

Figura 6-2. Zoom de representación de las mejoras de la envolvente



El más interesante desde el punto de vista energético es el que implica menor demanda térmica. Pero desde el punto de vista económico, el óptimo sería el de menor CCV. En este caso es 21400€ y se encuentra señalado en rojo.

Es el correspondiente a las mejoras:

- Mejora 2 de la transmitancia térmica: Umuros=0.38; Ucubierta=0.33; Usuelo=0.69; Uventana=2
- Mejora 1 de la transmitancia térmica lineal de puentes térmicos: $\Psi*L=42.83$
- Ninguna mejora de ventilación/infiltración
- Mejora 2 de las ganancias solares: $g_ver=0.16$ (solo en las ventanas sur y norte se ponen lamas)
- Mejora 2 de la ventilación nocturna: $ACHnoc=10ren/h$

Una vez se sabe el paquete de mejora óptimo, se implementa en HULC para su simulación, y así comprobar que verdaderamente se cumplen las exigencias del HE-1 como se muestra en Figura 6-3.

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0.77	0.83	CUMPLE
Control solar, $q_sol;jul$ [kWh/m².mes]	1.99	2.00	CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, $n50$ [1/h]	10.07	-	NO APLICA

Figura 6-3. Verificación HE-1 de la situación con envuelta optimizada mediante simulación en HULC

Los parámetros característicos de la situación con envuelta óptima son las que se muestran en la Tabla 6-2 y la Tabla 6-3. Como se explicó en la sección 4.6, los límites que aparecen en dichas tablas, en su mayoría son fruto de los distintos estudios realizados por Termotecnia en el marco de la transposición de la EPBD en España, exceptuando los límites superiores marcados en rojo que lo establece el CTE. Y de color verde se marcan los límites más favorables.

Tabla 6-2. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo calefacción situación envuelta optimizada

Concepto	Particularizado	Límite inferior	Límite superior
Um (W/m ² *K) zona B	0.77	0.4	0.83
ΔUm) pt	0.15	0.15	0.5
ACHeq	0.63	0.2	0.8

Tabla 6-3. Parámetros característicos a nivel de edificio en modo refrigeración situación envuelta optimizada

Concepto	Particularizado	Límite inferior	Límite superior
ASSE/Aa julio	0.023	0.001	0.039
ACHnoche espacios ocupados	10	6	15

El paquete de mejoras con la envolvente optimizada produce una disminución bastante significativa de la demanda térmica del edificio. En la Figura 6-4 se muestra las demandas en la situación con envuelta mejorada.

La demanda de calefacción ha disminuido desde 91.90 kWh/m², que tenía en la situación inicial, hasta los 29.19 kWh/m², es decir, se ha reducido un 68.24%. Por otro lado, la demanda de refrigeración ha disminuido un 3.56%, desde un valor inicial de 35.28 kWh/m² hasta los 28.07 kWh/m². Si se mira la demanda total, se ha reducido un 54.98%, desde los 127.18 hasta los 57.26 kWh/m².

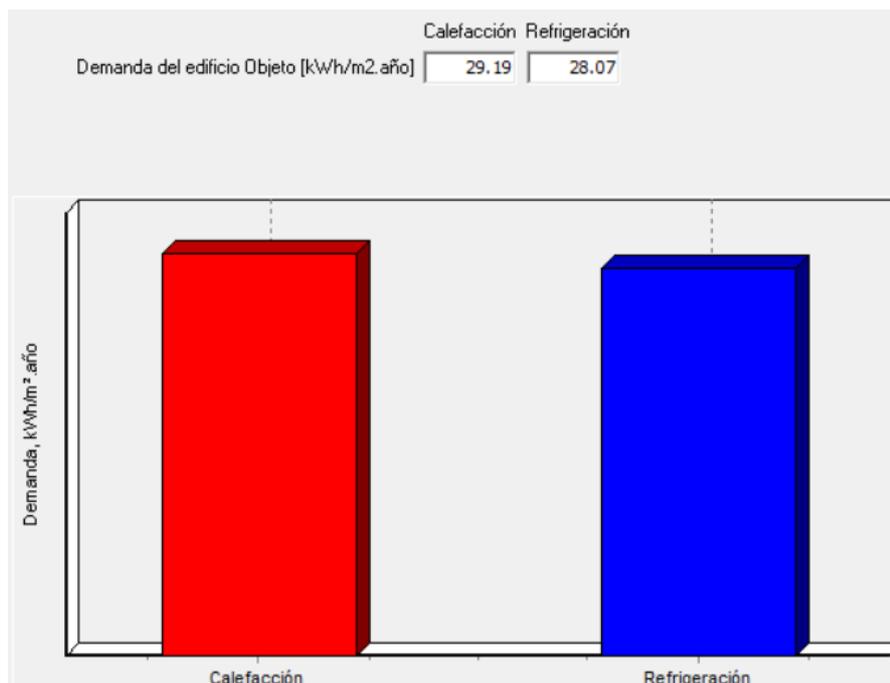


Figura 6-4. Demanda de calefacción y refrigeración de la situación con envuelta mejorada mediante HULC

7 CONTRIBUCIÓN RENOVABLE SOLAR PARA ACS

El peligro radica en que nuestro poder para dañar o destruir el medio ambiente, o al prójimo, aumenta a mucha mayor velocidad que nuestra sabiduría en el uso de ese poder.

- Stephen Hawking -

En este capítulo se explicará con detalle la mejora en relación con la instalación solar térmica para el cumplimiento de la fracción renovable del consumo de ACS.

7.1 Mejora de la fracción renovable del consumo de ACS

Como se ha visto anteriormente, es necesario disponer de una fracción renovable de consumo de ACS. En este caso, se va a implementar una instalación solar térmica.

Para dimensionar la instalación y conocer la evolución de la producción a lo largo de los meses del año se ha utilizado el software CHEQ4.

Se ha seleccionado un panel solar térmico del modelo SOLCRAFTE Plus de 2.4m² del catálogo de Salvador Escoda como se muestra en el anexo 12.3 Catálogo técnico de los paneles solares térmicos para ACS en la página 58.

En el software CHEQ4 se introduce la localidad en la que está situada la vivienda, altura de la instalación solar térmica, tipo de instalación, demanda de ACS y la marca seleccionada. Y éste proporciona la producción mensual mostrada en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1. Producción mensual de Energía Térmica a partir de fuente renovable

Solar térmica ACS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción de energía térmica [kWh]	95	100	125	130	135	140	150	145	130	110	95	85

Al introducir estos datos en HULC, se muestran los siguientes resultados de la Figura 7-1. Como puede observar, ahora sí cumple el HE-4.

Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	42.10	Valores límite	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	59.50		80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	0		350	CUMPLE
Fración renovable del consumo de ACS [%]	61.00	Valores límite	60.00	CUMPLE
Potencia producción eléctrica instalada [kW]	0		-	NO APLICA

Figura 7-1. Resultados HULC situación envuelta mejorada y contribución renovable de ACS

8 PROPUESTAS DE MEJORA DE LOS EQUIPOS

*Probamos por medio de la lógica, pero descubrimos
por medio de la intuición.*

- Henri Poincaré -

En este capítulo se explicará con detalle las posibles mejoras en relación con los equipos de climatización.

8.1 Mejoras en equipos de climatización

Una vez reformada la envuelta del edificio con la situación óptima elegida anteriormente y, por tanto, reducida la demanda de calefacción y refrigeración, se quiere hacer una sustitución de equipos de climatización. Se ha estudiado energéticamente los 7 posibles equipos mediante HULC con el objetivo de cumplir los límites reglamentarios de consumo de energía primaria total y no renovable. Además, cada una de las alternativas se ha analizado económicamente. De hecho, de los 7 casos se implementará el equipo óptimo, que es aquel que cumpliendo los límites reglamentarios supone un menor coste de ciclo de vida.

Previo al estudio de cada una de las posibles situaciones, es necesario extraer de los resultados de HULC las cargas totales de refrigeración y calefacción extremas de cada una de las zonas acondicionadas para dimensionar los equipos sin necesidad de hacer un cálculo de cargas pormenorizado, al tratarse de una estimación inicial. Estas son las siguientes:

Sala de estar: "P01_E01" (8.58 m²)

Carga Total ref=1.08 kW; Carga Total cal=-0.7 kW

Salón: "P01_E05" (19.61 m²)

Carga Total ref=2.6 kW; Carga Total cal=-1.64 kW

Dormitorio 3: "P02_E01" (8.58 m²)

Carga Total ref=1.29 kW; Carga Total cal=-0.7 kW

Dormitorio principal 1: "P02_E05" (10.08 m²)

Carga Total ref=1.53 kW; Carga Total cal=-1.01 kW

Dormitorio2: "P02_E06" (8.28 m²)

Carga Total ref=1.23 kW; Carga Total cal=-0.75kW

También es necesario calcular la carga simultanea por planta:

La planta baja tiene una Carga simultanea total refrigeración =3.61 kW y una de calefacción=-2.33 kW

La primera planta tiene una Carga simultanea total refrigeración =3.99 kW y una de calefacción=-2.45 kW

El criterio de selección de cada uno de los equipos ha sido el más barato que cubra las características térmicas del edificio.

Los datos de equipo que se le aportan a HULC están sacados de los catálogos de la web de Salvador Escoda, excepto la capacidad sensible de refrigeración nominal que hay que calcularla mediante la fórmula 8-1 y suponiendo $T_{al}=25^{\circ}\text{C}$ y $T_{ai}=15^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{sen,loc,max} \left[\frac{f}{h} \right] = 0.288 \cdot V_{ai} \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot (T_{al} - T_{ai}) [^{\circ}\text{C}] \quad (8-1)$$

Los catálogos técnicos de cada uno de los equipos se han sacado de la web de Salvador Escoda. Estos junto con los datos introducidos en HULC se encuentran en el anexo 12.4 Catálogo técnico de las posibles mejoras en equipos en la página 59.

Los factores de paso que utiliza HULC para calcular el consumo de energía primaria no renovable y total son los que se muestran en la Figura 8-1, la cual está sacada del documento “Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España” ubicado en la web del Gobierno de España.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Figura 8-1. Factores de paso de energía final a primaria

8.1.1 Climatización unizona con autónomo frío/calor

La primera alternativa a implementar consiste en un sistema autónomo por zona acondicionada para calefacción y refrigeración. Se trata de 5 splits de pared del modelo MUPR-09-H9A.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-2. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	46.20	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	76.30	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	5	350	CUMPLE

Figura 8-2. Verificación HE-0 mejora 1 de equipos climatización mediante HULC

8.1.2 Climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico

La segunda alternativa a implementar consiste en un sistema autónomo por zona acondicionada para refrigeración y un radiador eléctrico unizona para calefacción. El autónomo es del modelo MUPO-07-C9 y el radiador es del modelo MERCALOR RM-11.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-3. Como se puede observar este posible sistema de climatización no cumple todos los límites reglamentarios por lo que, a pesar de uno de los que se ha estudiado, no va a poder ser implementado.

Decir que se ha intentado jugar con el margen del número de horas fuera de consigna permitido para que los consumos estuviesen por debajo del límite, pero no ha sido posible.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	67.90	55.00	NO CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	94.90	80.00	NO CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	58	350	CUMPLE

Figura 8-3. Verificación HE-0 mejora 2 de equipos climatización mediante HULC

8.1.3 Climatización multizona con autónomo frío/calor

La tercera alternativa a implementar consiste en un sistema autónomo multizona, es decir, un multisplit por planta. La unidad exterior de la planta baja es del modelo MUEX-14-H6.2 (2x1) y el de la primera planta es de MUEX-21-H6.3 (3x1). En cuanto a las unidades interiores son del modelo MUPR-09-H6M.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la Figura 8-4. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	45.40	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	74.70	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	23	350	CUMPLE

Figura 8-4. Verificación HE-0 mejora 3 de equipos climatización mediante HULC

8.1.4 Climatización multizona por conductos frío/calor

La cuarta alternativa a implementar consiste en un sistema multizona por conductos centralizado todo aire cuyo termostato se encontraría en el salón. Éste tiene una unidad exterior (enfriadora) del modelo MUENR-07-H6 y una unidad interior (climatizadora) del modelo BHW 358 y varios conductos mediante los cuales llega el aire a cada una de las zonas acondicionadas.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-5. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	39.00	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	70.10	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	177	350	CUMPLE

Figura 8-5. Verificación HE-0 mejora 4 de equipos climatización mediante HULC

8.1.5 Calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

La quinta alternativa a implementar consiste en un sistema de calefacción multizona por agua con una unidad exterior de BdC modelo 6MR y 5 unidades interiores fan-coil (una por cada zona acondicionada) modelo MUC-11-DE4. Los autónomos solo frío son los mismos que se implementaron en la subsección 8.1.2.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-6. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	47.30	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	79.10	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	58	350	CUMPLE

Figura 8-6. Verificación HE-0 mejora 5 de equipos climatización mediante HULC

8.1.6 Calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

La sexta alternativa a implementar consiste en un sistema de calefacción multizona por agua con una unidad exterior de caldera de baja temperatura modelo 24AF de gas natural y 5 unidades interiores fan-coil (una por cada zona acondicionada) modelo MUC-11-DE4. Los autónomos solo frío son los mismos que se implementaron en la subsección 8.1.2.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-7. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	52.40	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	72.30	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	58	350	CUMPLE

Figura 8-7. Verificación HE-0 mejora 6 de equipos climatización mediante HULC

8.1.7 Sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío

La séptima alternativa a implementar consiste una caldera convencional mixta de gas natural para calefacción y ACS modelo 24/24F y 5 unidades interiores radiadores de agua (una por cada zona acondicionada) modelos ADRA 11. Los autónomos solo frío son los mismos que se implementaron en la subsección 8.1.2.

Tras ejecutar el software, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura Figura 8-8. Como se puede observar cumple los límites reglamentarios y, por tanto, se puede decir a priori que puede ser implementado.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	52.40	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	72.30	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	58	350	CUMPLE

Figura 8-8. Verificación HE-0 mejora 7 de equipos climatización mediante HULC

8.2 Evaluación económica de las propuestas de mejora de los equipos

Una vez estudiada energéticamente cada una de las 7 opciones posibles, se analiza económicamente. Para ello, se calcula el coste de ciclo de vida (CCV) durante 30 años actualizado al valor presente teniendo en cuenta los siguientes conceptos:

- **Inversión (I):** Los catálogos de precio de cada modelo de equipo objeto de estudio se han extraído de la web de Salvador Escoda y se exponen detalladamente en el anexo 12.5 Catálogo económico de las posibles mejoras en equipos en la página 66. En el cálculo se contempla esta inversión inicial en el año 0 y otra en el año 15 cuando se repone el equipo, ya que, los equipos tienen una vida útil de 15 años. La inversión en el año 15 se debe actualizar al valor presente con una tasa de descuento del 3%.
- **Mantenimiento (M):** Se puede estimar que el coste por mantenimiento durante 30 años es equivalente al 4% de la inversión inicial.
- **Operación (O):** El coste anual debido a la energía final consumida en cada uno de los equipos tiene que ser actualizada al valor presente. Los precios que se han tenido en cuenta para dicho cálculo son los plasmados en la Tabla 8-1. Y los datos de energía final consumida son proporcionados por HULC.

Tabla 8-1. Precio de los vectores energéticos

Vector energético	Gas Natural	GLP	Electricidad
Coste [€/kWhf]	0.068	0.115	0.209

De forma resumida, para calcular el CCV de las mejoras en equipos se utiliza la ecuación 8-2.

$$CCV[\text{€}] = I_{\text{inicial}} + M + O \cdot \left(\frac{(1+i)^{(n-1)}}{i \cdot (1+i)^n} \right) + I_{\text{reposición}} \cdot \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (8-2)$$

Se pueden ver los cálculos numéricos en el anexo 12.6 Cálculo de CCV de las posibles mejoras en equipos en la página 69.

8.3 Equipos de climatización óptimo

En la Figura 8-9 se muestra el CCV y la Energía Primaria no renovable de cada uno de los paquetes de mejoras en equipos de climatización. En cambio, en la Figura 8-10 se representa los CCV estos mismos paquetes de mejoras, pero en función de la Energía Primaria Total. Ya que ambas, la Epnren y la Eptotal, son parámetros que tienen límites reglamentarios máximos marcados con una línea roja. Como se ve en la figura el equipo número 2 no cumple dichos límites y, por tanto, es descartada.

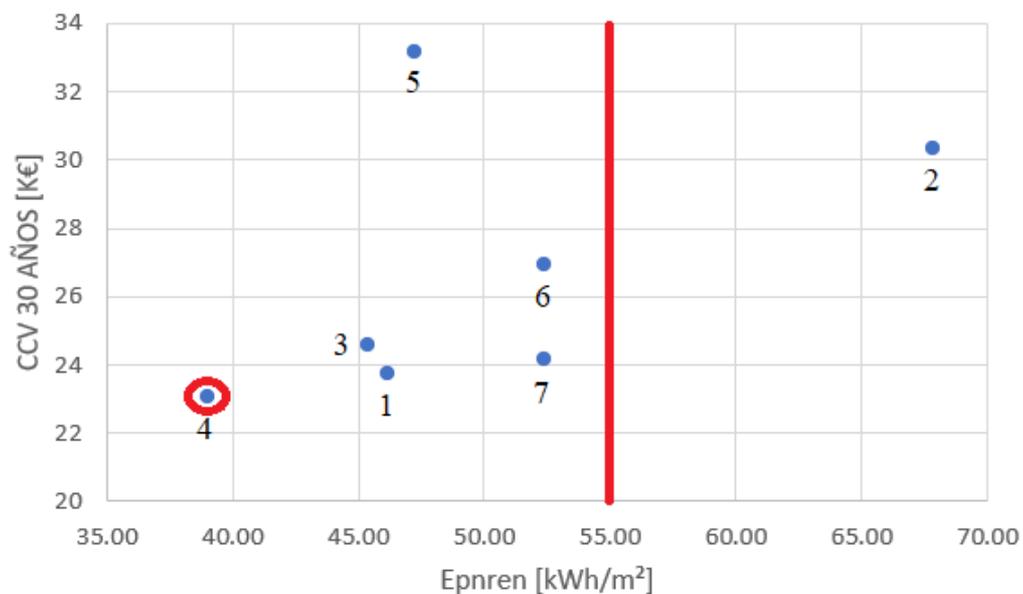


Figura 8-9. Coste de Ciclo de Vida y Epnren de los posibles equipos de climatización

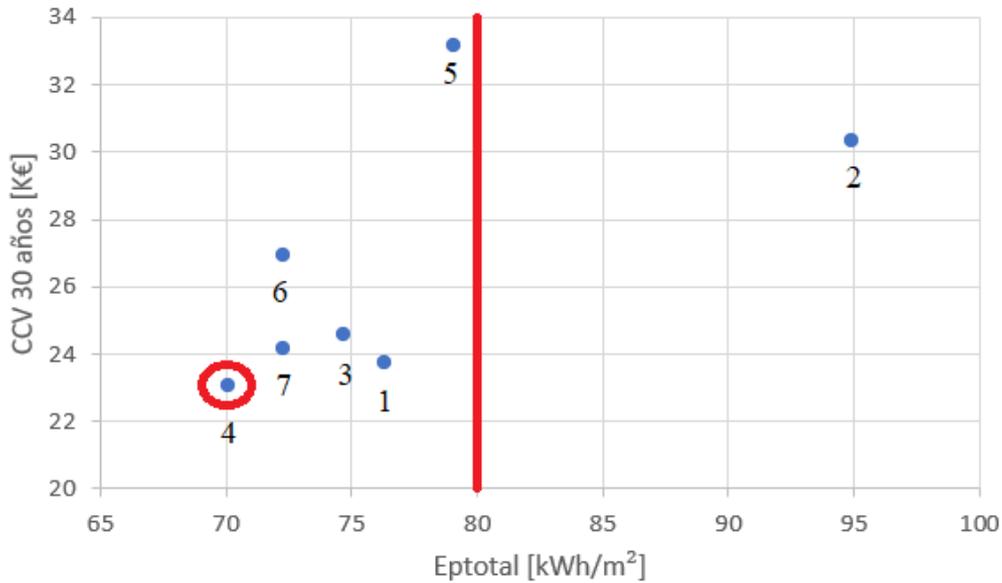


Figura 8-10. Coste de Ciclo de Vida y Eptotal de los posibles equipos de climatización

Tras este estudio económico, se elige como solución óptima la que tenga un menor CCV, siempre que cumpla los límites reglamentarios de Epnren y Eptotal. Esta solución óptima está marcada con un círculo rojo en ambas figuras y corresponde a la opción número 4 cuyo CCV es de 23046€. Es importante especificar aquí que no se tiene en cuenta en el cálculo el precio de la instalación solar térmica, ya que, en todas las posibles mejoras de equipos la contienen.

La opción número 4, como se ha expuesto anteriormente consiste en:

- Sistema multizona por conductos centralizado todo aire para calefacción y refrigeración cuyo termostato se encuentra en el salón, que se compone de:
 - Una unidad exterior enfriadora del modelo MUENR-07-H6
 - Una unidad interior (climatizadora) del modelo BHW 358
 - Conductos de aire para cada una de las zonas acondicionadas
- Para ACS se utiliza la misma caldera convencional con GLP de la situación inicial con una contribución renovable de la instalación solar térmica que se ha explicado en la sección 7.1.

Tras la implementación del equipo óptimo se ve una reducción del consumo de Epnren y Eptotal con respecto a la situación inicial de la vivienda como se ve en la Figura 8-11 y la Figura 8-12. El consumo de Epnren pasa de ser 110.9 a 39 kWh/m² mientras que el de Eptotal se reduce de 114.6 a 70.1 kWh/m², lo que corresponde a una reducción del 64.83% y del 38.83%, respectivamente.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m².año]	39.00	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m².año]	70.10	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	177	350	CUMPLE

Figura 8-11. Consumo envolvente+SolarACS+ equipo óptimo mediante simulación en HULC

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	110.90	55.00	NO CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	114.60	80.00	NO CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	0	350	CUMPLE

Figura 8-12. Consumo equipo inicial mediante simulación en HULC

9 CONTRIBUCIÓN RENOVABLE FOTOVOLTAICA

Ahorrar no es solo guardar, sino saber gastar.

- Refrán popular -

En este capítulo se explicará con detalle las mejoras en relación a la implementación de una instalación fotovoltaica para producción renovable de electricidad. Este capítulo no se rige por la necesidad de cumplir un límite mínimo reglamentario de generación de energía eléctrica ya que no es requisito en los edificios residenciales privados, sino por ampliar el estudio de rehabilitación energética del edificio.

9.1 Mejora de la potencia de producción eléctrica instalada

Se ha seleccionado un panel fotovoltaico del modelo MEIN KRAFTWERK de 0.9kWp del catálogo de Salvador Escoda como se muestra en el anexo 12.7 Catálogo paneles fotovoltaicos en la página 70.

Se ha hecho la simplificación de contemplar como único consumo de energía eléctrica de la vivienda el procedente de los equipos de climatización.

Los datos de consumo se han supuestos proporcionales por meses, y son los que se muestra en la Tabla 9-1, para hacer una aproximación de cuál es la potencia fotovoltaica necesaria por instalar.

Tabla 9-1. Consumo mensual de energía eléctrica

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Consumo de energía final eléctrica[kWh]	100	100	100	100	100	172	172	172	172	100	100	100

La web PVGIS proporciona los datos climáticos de la zona, la producción estimada de la instalación que se muestran en la Tabla 9-2, entre otros parámetros.

Tabla 9-2. Producción fotovoltaica en Sevilla proporcionados por PVGIS

Fotovoltaica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción de energía final eléctrica[kWh]	91.9	94.3	122.7	131.2	150.3	160.8	152.7	128.1	108.1	89.7	84.77	78.78

Se considera que es una instalación de autoconsumo con excedentes acogida a compensación. Por tanto, con los datos de consumo y producción fotovoltaica, se ha podido concluir que un 7.5% de la producción fotovoltaica son excedentes y por tanto no se pueden aprovechar.

Con esta instalación fotovoltaica se tiene una cobertura renovable anual de la electricidad de un 87%. Y por tanto la reducción de consumo de energía primaria total respecto a la situación mejorada (envolvente+solarACS+equipo) es de 21,1% y la reducción de consumo de energía primaria no renovable es de un 54,6% como se puede comprobar en la Figura 9-1 y Figura 9-2.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	17.70	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	55.30	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	173	350	CUMPLE

Figura 9-1. Consumo vivienda envolvente+equipo óptimo+solarACS+fotovoltaica mediante HULC

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	39.00	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	70.10	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	177	350	CUMPLE

Figura 9-2. Consumo vivienda envolvente+equipo óptimo+solarACS mediante simulación en HULC

10 MODELAJE DE LA SITUACIÓN MEJORADA ÓPTIMA

A igualdad de inteligencia y energía, quien menos impone su persona es quien más impone sus ideas.

- Agustín Pedro Justo -

En este capítulo se informará, de forma concisa y a modo de resumen de cada mejora implementada a lo largo del proyecto, la evolución de la vivienda desde la situación inicial hasta la situación mejorada final.

10.1 Resultados situación inicial

La situación inicial de la vivienda poseía una envuelta cuya transmitancia térmica global y ganancias solares no cumplían los límites reglamentarios como se puede corroborar en la Figura 10-1. La demanda anual de calefacción y refrigeración de la vivienda poseían una calificación energética F y D respectivamente como se muestra en Figura 10-2.

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	2.26	0.83	NO CUMPLE
Control solar, q_sol;jul [kWh/m².mes]	6.79	2.00	NO CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	9.63	-	NO APLICA

Figura 10-1. Verificación del HE-1 de la situación inicial mediante simulación en HULC

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> <9.70 A 9.70-18.40 B 18.40-31.10 C 31.10-49.90 D 49.90-83.60 E 83.60-102.80 F =>102.80 G 	91.90 F	<ul style="list-style-type: none"> <13.90 A 13.90-20.0 B 20.00-28.40 C 28.40-41.40 D 41.40-50.90 E 50.90-62.60 F =>62.60 G 	35.28 D
Demanda de calefacción (kWh/m²año)		Demanda de refrigeración (kWh/m²año)	

Figura 10-2. Calificación energética demandas situación inicial mediante HULC

Por su parte, los consumos que se requerían en esta situación inicial de la vivienda tampoco cumplían los límites reglamentarios como se plasma en Figura 10-3, con una calificación D en el consumo de Epnren como se ve en la Figura 10-4.

		Valores límite		
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	110.90	55.00		NO CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	114.60	80.00		NO CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	0	350		CUMPLE

Figura 10-3. Verificación HE-0 de la situación inicial mediante simulación en HULC

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	110.95 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m ² año)	D	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m ² año)	G
		64.66		30.92	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m ² año) ¹		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m ² año)	B	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m ² año)	-
		15.36		0.00	

Figura 10-4. Calificación energética consumo Epnren situación inicial mediante HULC

La situación inicial de la vivienda tenía unas necesidades de calefacción y refrigeración, y unos equipos de climatización, ACS que implicaban unas emisiones globales de 22.84 kgCO₂/m² al año, que corresponde a una calificación energética D. En la Figura 10-5, se puede conocer con detalle las emisiones que se producen según la finalidad a la que va dirigida.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	22.84 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	D	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	F
		13.69		6.54	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) ¹		Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
		2.60		-	

Figura 10-5. Calificación energética emisiones globales situación inicial mediante HULC

10.2 Resultados situación mejorada final

La situación mejorada final de la vivienda posee una envuelta cuya transmitancia térmica global y ganancias

solares son muy inferiores a las de la situación inicial, y cumplen los límites reglamentarios como se puede corroborar en la Figura 10-6. La demanda anual de calefacción y refrigeración de la vivienda posee ahora una calificación energética C como se muestra en Figura 10-7.

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m ² K]	0.77	0.83	CUMPLE
Control solar, q_sol;jul [kWh/m ² .mes]	1.99	2.00	CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	10.07	-	NO APLICA

Figura 10-6. Verificación HE-1 de la situación mejorada final mediante simulación en HULC

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	29.19 C		28.07 C
Demanda de calefacción (kWh/m ² año)		Demanda de refrigeración (kWh/m ² año)	

Figura 10-7. Calificación energética demandas situación mejorada final mediante HULC

Por su parte, los consumos que se requieren en esta situación mejorada de la vivienda ahora sí cumplen los límites reglamentarios como se plasma en Figura 10-8, con una calificación A en el consumo de Epren como se ve en la Figura 10-9.

		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m ² .año]	17.60	55.00	CUMPLE
Consumo EP total [kWh/m ² .año]	55.10	80.00	CUMPLE
Número de horas fuera de consigna	177	350	CUMPLE

Figura 10-8. Verificación HE-0 de la situación mejorada final mediante simulación en HULC

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	17.60 A			
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m ² año) ¹	CALEFACCIÓN		ACS	
	Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m ² año)	A	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m ² año)	D
	4.42		9.38	
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m ² año)	A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m ² año)	-
	3.80		0.00	

Figura 10-9. Calificación energética consumo Epreen situación mejorada final mediante HULC

En esta situación mejorada de la vivienda se tiene unas necesidades de calefacción y refrigeración, y unos equipos de climatización, ACS distintos a los de la situación inicial por lo que implican unas emisiones globales diferentes. Estas son ahora de 3.38 kgCO₂/m² al año, que corresponde a una calificación energética A. En la Figura 10-10, se puede conocer con detalle las emisiones que se producen según la finalidad a la que va dirigida.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
<p><6.70 A 6.70-11.60 B 11.60-19.00 C 19.00-29.80 D 29.80-58.40 E 58.40-71.80 F =>71.80 G</p>	<p>3.38 A</p>	CALEFACCIÓN		ACS		
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)		A	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	
		0.75			1.98	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)		A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)		-	
0.64			-			
Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) ¹						

Figura 10-10. Calificación energética emisiones globales situación mejorada final mediante HULC

11 CONCLUSIONES

*El hecho de ser abuela, me da la certeza de que la paz
llegará algún día al Medio Oriente: sé que también hay
abuelas en Egipto, Jordania y Siria, que quieren que
sus nietos vivan.*

- Golda Meir -

Tras haber realizado la rehabilitación energética del edificio, tanto a nivel de la envuelta como de los equipos de climatización y ACS, se ha llegado a una situación mejorada del edificio que cumple la normativa HE-0, HE-1 y HE-4. Colateralmente, se ha obtenido una calificación energética mucho mejor que la inicial. Además, se ha incluido una instalación fotovoltaica para ampliar la mejora energética.

Concretamente tras mejorar la envuelta se obtenido una reducción de la demanda de calefacción de 68.24% y de la demanda de refrigeración de un 3.56%. Es decir, una reducción de un 54.98% en la demanda total de la vivienda cuyo CCV es de 21400€.

Posteriormente, tras la implementación de la instalación solar térmica y el equipo de climatización óptimo se ha obtenido una reducción del consumo de E_{pnren} del 64.83% con respecto a la situación inicial de la vivienda y de un 38.83% en la E_{ptotal}. El CCV es de 23046€.

A groso modo se puede decir que, tras estas dos mejoras junto con la implantación de la instalación fotovoltaica, se han mejorado en 3 niveles de la calificación energética. Lo que hace que cubrir las necesidades térmicas de la vivienda sea mucho más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

12 ANEXOS

Este capítulo contiene los anexos, documentación detallada y extensa cuyo objetivo es completar la información del proyecto, pero que no se ha incluido a lo largo del mismo por razones de simplificación y orden. Se aconseja consultar dicho apartado cuando se haga referencia a este en el cuerpo del proyecto.

12.1 Elementos constructivos en la situación inicial

Cubierta Inclinada:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Teja de arcilla cocida	0,030	1,000	2000	800
2	Betún fieltro o lámina	0,005	0,230	1100	1000
3	Hormiçón convencional d 1600	0,030	0,970	1600	1000
4	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000

Forjado:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015	1,000	2000	800
2	Hormiçón armado 2300 < d < 2500	0,040	2,300	2400	1000
3	FR Entrevigado cerámico -Canto 300 mm	0,300	1,678	1580	1000
4	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000

Medianera:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000
2	1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60	0,240	0,667	1220	1000
3	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000

Muro exterior:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,550	1125	1000
2	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60	0,115	0,667	1140	1000
3	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]]	0,020	0,038	30	1000
4	Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm				
5	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000
6	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000

Suelo:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015	1,000	2000	800
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,030	0,550	1125	1000
3	losa de hormigón d = 2500 y canto 400 mm	0,400	2,500	2500	1000

Tabique:

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp
1	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000
2	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000
3	Enlucido de yeso d < 1000	0,015	0,400	900	1000

Ventana:

Grupo Vidrio:

Vidrio:

Grupo Marco:

Marco:

% hueco cubierto por el marco: ¿Es una puerta?

Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: %

Permeabilidad al aire: m²/hm² a 100 Pa

Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados (g_gl.sh.wi):

U_H: [W/m²K]

Puerta:

Grupo Vidrio:

Vidrio:

Grupo Marco:

Marco:

% hueco cubierto por el marco: ¿Es una puerta?

Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: %

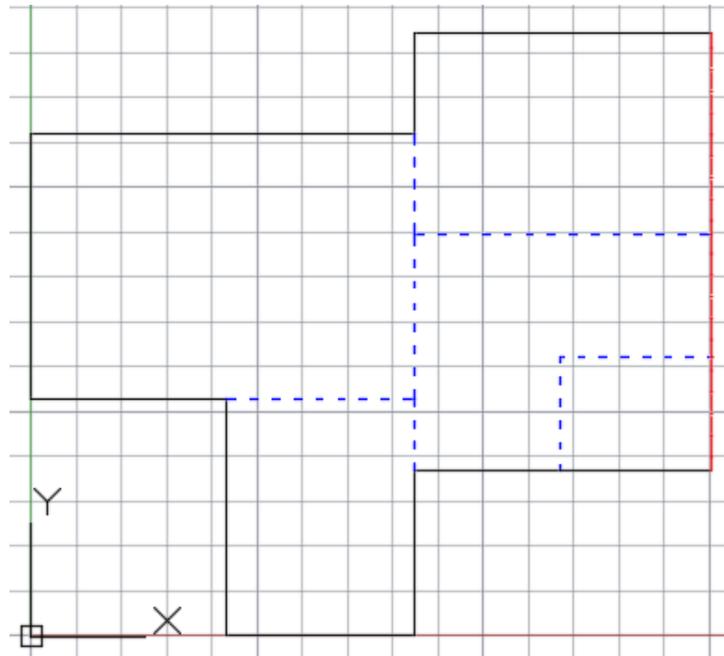
Permeabilidad al aire: m²/hm² a 100 Pa

Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados (g_gl.sh.wi):

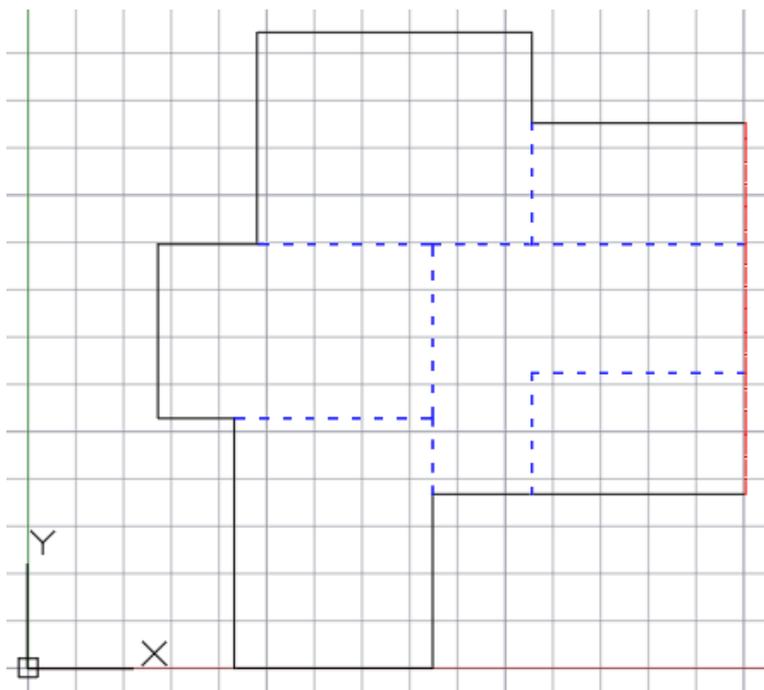
U_H: [W/m²K]

12.2 Planos DXF diseñados con AutoCAD

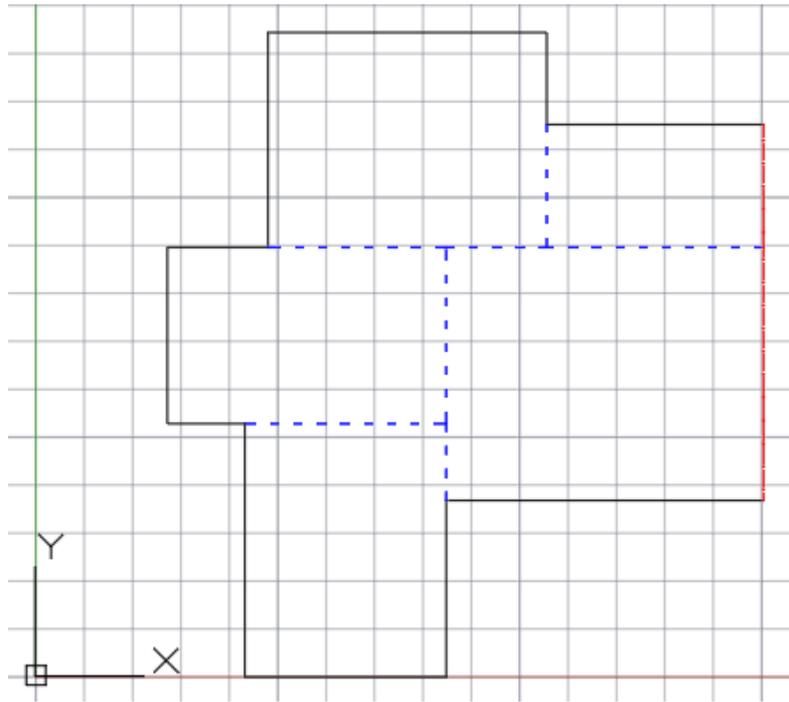
Plano DXF de la planta baja:



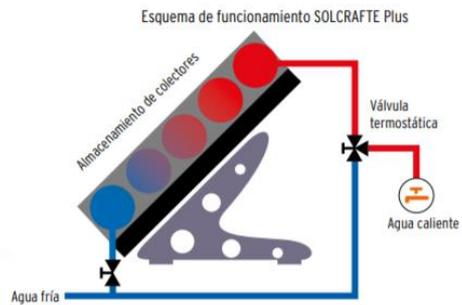
Plano DXF de la primera planta:



Plano DXF de la segunda planta:



12.3 Catálogo técnico de los paneles solares térmicos para ACS



		200 L
Tamaño depósito	l	195
Superficie total del captador	m²	2,4
SOLRAFTE plus	€	1.885,-
	Matchcode	SOLCR200
	Código	S031463

12.4 Catálogo técnico de las posibles mejoras en equipos

12.4.1 Climatización unizona con autónomo frío/calor

Modelo			MUPR-09-H9A	
Código			CL20041	
Refrigeración	Capacidad nominal (min – máx)	kW	2,60 (0,5 - 2,9)	
	Consumo nominal (min – máx)	kW	0,8 (0,085 - 1,0)	
	Pdesignc (carga de diseño)	kW	2,6	
	SEER	W/W	6,15	
	Etiquetado energético		A++	
Consumo de energía anual		kWh/año	149	
Calefacción	Capacidad nominal (min – máx)	kW	2,80 (0,5 - 3,1)	
	Consumo nominal (min – máx)	kW	0,75 (0,11 - 1,4)	
	Zona climática intermedia	Pdesignh (carga de diseño)	kW	2,2
		SCOP	W/W	4,10
		Etiquetado energético		A+
		Consumo de energía anual	kWh/año	752
	Tbiv (Temperatura bivalente)	°C	-7	
	Zona climática cálida	Pdesignh (carga de diseño)	kW	2,4
		SCOP	W/W	5,08
		Etiquetado energético		A++
		Consumo de energía anual	kWh/año	663
Tbiv (Temperatura bivalente)	°C	2		
Tol (Temp. límite funcionamiento)	°C	-10		
Alimentación Eléctrica			V-Hz-F	
Consumo máximo	kW		1,5	
Intensidad máxima	A		8	
Unidad Interior	Caudal de aire (Turbo / Alto / Medio / Bajo)	m³/h	600 / 500 / 450 / 405	
	Presión sonora (Turbo / Alta / Media / Baja)	dB(A)	42 / 37 / 33 / 27	
	Potencia sonora (Alta)	dB(A)	57	
	Dimensiones (An x Al x Pr)	mm	750 x 285 x 200	
	Peso	Kg	7,5	
Unidad Exterior	Caudal de aire (máx)	m³/h	2000	
	Presión sonora (Alta)	dB(A)	52	
	Potencia sonora (Alta)	dB(A)	61	
	Dimensiones (An x Al x Pr)	mm	723 x 546 x 260	
	Peso	Kg	25	
Refrigerante	Tipo / PCA	R32 / 675		
	Carga	kg / TCO _{eq}	0,53 / 0,357	
	Precarga hasta	m	5	
	Carga adicional (a partir de 5m)	g/m	16	
Tuberías frigoríficas	Líquido	mm(inch)	Ø6,35 (1/4")	
	Gas	mm(inch)	Ø9,52 (3/8")	
	Longitud máxima	m	20	
	Desnivel máximo	m	10	
Cableado Eléctrico	Alimentación (unidad exterior)	mm²	2 x 2,5 + T	
	Interconexión	mm²	4 x 2,5 + T	
Control Remoto Inalámbrico				
Temperatura de funcionamiento	Interior (Refrigeración / Calefacción)	°C		
	Exterior (Refrigeración / Calefacción)	°C		

Autónomo bomba de calor

Nombre: SIS6_EQ2_EQ_ED_AireAire_BDC-Defecto

Propiedades Básicas | Curvas |

Capacidad total de refrigeración nominal	<input type="text" value="2.60"/>	kW
Capacidad sensible de refrigeración nominal	<input type="text" value="2.01"/>	kW
Consumo de refrigeración nominal	<input type="text" value="0.80"/>	kW
Capacidad calorífica nominal	<input type="text" value="2.80"/>	kW
Consumo de calefacción nominal	<input type="text" value="0.75"/>	kW
Caudal de impulsión nominal	<input type="text" value="600"/>	m³/h

12.4.2 Climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico

Modelo		MUPO-07-C9	
Código		CL20013	
Refrigeración	Capacidad nominal	kW	2,06
	Consumo nominal P_{EER}	kW	0,792
	EERd	W/W	2,6
	Etiquetado Energético		A
	Consumo de electricidad Q_{SD}	kWh/60min.	0,792
Calefacción	Capacidad nominal	kW	-
	Consumo nominal P_{COP}	kW	-
	COPd	W/W	-
	Etiquetado Energético		-
	Consumo de electricidad Q_{SD}	kWh/60min.	-
Consumo de energía en modo desactivado por termostato Pro		W	-
Consumo de energía en modo espera P_{SB}		W	1
Nivel de potencia sonora L_{WA}		dB(A)	65
Alimentación Eléctrica		V-Hz-F	
Intensidad máxima		A	3,51
Caudal de aire	Interior	m ³ /h	300
	Exterior	m ³ /h	300
Diámetro del tubo de descarga de aire		mm	150
Refrigerante	Tipo / PCA		
	Cantidad	kg / TCO ₂ EP	0,13/0,0
Dimensiones (An x F x Al)		mm	305x328x678
Peso		kg	21

Autónomo sólo frío

Nombre:

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal kW

Capacidad sensible de refrigeración nominal kW

Consumo de refrigeración nominal kW

Caudal de impulsión nominal m³/h

Radiador eléctrico:

Calefactor eléctrico

Nombre:

Propiedades básicas | Curvas

Capacidad nominal kW

Consumo nominal kW

12.4.3 Climatización multizona con autónomo frío/calor

2 Multisplit:

Modelo			MUEX-14-H6.2	MUEX-18-H6.2	MUEX-21-H6.3	
Código			CL 20 440	CL 20 441	CL 20 442	
Refrigeración	Capacidad nominal (min-máx)	kW	4,10 (1,76 - 4,54)	5,20 (2,08 - 6,29)	6,30 (2,44-7,32)	
	Consumo nominal (min-máx)	kW	1,24 (0,42 - 1,43)	1,75 (0,59 - 2,16)	1,94 (0,68 - 2,38)	
	Pdesignc (carga de diseño)	kW	4,10	5,20	6,10	
	SEER	W/W	6,80	6,30	6,40	
	Etiquetado Energético			A++	A++	A++
	Eficiencia energética estacional para refrigeración de espacios	$\eta_{s,c}$ (%)	—	—	—	
	Consumo de energía anual	kWh/año	211	289	334	
Calefacción	Capacidad nominal (min-máx)	kW	4,40 (1,89 - 4,87)	5,50 (2,2 - 6,66)	6,70 (2,64 - 7,92)	
	Consumo nominal (min-máx)	kW	1,16 (0,39 - 1,33)	1,50 (0,5 - 1,85)	1,81 (0,64 - 2,22)	
	Pdesignh (carga de diseño)	kW	3,40	4,70	5,70	
	SCOP	W/W	4,00	4,00	4,00	
	Etiquetado energético			A+	A+	A+
	Eficiencia energética estacional para calefacción de espacios	$\eta_{s,h}$ (%)	—	—	—	
	Consumo de energía anual	kWh/año	1190	1645	1995	
	Tbiv (Temperatura bivalente)	°C	-7	-7	-7	

Unidad interior:

Modelo			MUPR-09-H6M
Código			CL 20 450
Refrigeración	Capacidad nom. (min – máx)	kW	2,63 (1,17 – 3,31)
	Consumo nominal	W	24
Calefacción	Capacidad nom. (min – máx)	kW	2,93 (0,82 – 3,72)
	Consumo nominal	W	24
Caudal de aire (Alto / Medio / Bajo)			m³/h 472 / 360 / 254

Unidad interior de autónomo

Nombre

Propiedades básicas

Capacidad total de refrigeración nominal	<input type="text" value="2.63"/>	kW
Capacidad sensible de refrigeración nominal	<input type="text" value="1.58"/>	kW
Capacidad calorífica nominal	<input type="text" value="2.93"/>	kW
Caudal de impulsión nominal	<input type="text" value="472"/>	m³/h
Espacio	<input type="text" value="P01_E01"/>	

12.4.4 Climatización multizona por conductos frío/calor

Climatización multizona por conductos

Nombre:

Propiedades básicas

Zona de control:

Autónomo bomba de calor

Nombre:

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal: kW

Capacidad sensible de refrigeración nominal: kW

Consumo de refrigeración nominal: kW

Capacidad calorífica nominal: kW

Consumo de calefacción nominal: kW

Caudal de impulsión nominal: m³/h

Boca de impulsión

Nombre:

Propiedades básicas

Caudal de impulsión nominal: m³/h

Espacio:

Unidades climatizadoras Baja silueta

Código	Modelo	Caudal aire calor			Voltaje 50 Hz ~ V	Potencia absorbida nominal kW	Corriente absorbida nominal A	Conexiones agua Ø (")	€
		Velocidad I - II - III (m³/h)	Caudal agua frío y calor Velocidad I - II - III (l/h)						
CL 28 960	BHW 174	600 - 900 - 1050	542 - 696 - 760	230 I	0,20	1,0	3/4	821,00	
CL 28 961	BHW 205	950 - 1130 - 1220	776 - 860 - 899	230 I	0,26	1,5	3/4	891,00	
CL 28 962	BHW 358	1100 - 1340 - 1850	1042 - 1185 - 1442	230 I	0,51	2,45	3/4	1.119,00	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Modelo	Potencia frigorífica Temp. agua 7°C	Potencia frigorífica Temp. entrada agua 50°C	Potencia frigorífica Temp. entrada agua 70°C	Dimensiones (Ancho x fondo x alto) mm	Caudal aire frío Velocidad I - II - III (m³/h)
	Velocidad I - II - III (kW)	Velocidad I - II - III (kW)	Velocidad I - II - III (kW)		
BHW 174	3,54 - 4,6 - 5,04	4,74 - 6,49 - 7,28	7,84 - 10,7 - 12,0	829x791x219	600-900-1050
BHW 205	4,71 - 5,23 - 5,46	6,66 - 7,56 - 7,98	11,0 - 12,5 - 13,2	829x791x258	950-1130-1220
BHW 358	6,31 - 7,18 - 8,74	8,34 - 9,71	13,8 - 16,0 - 20,3	915x791x285	1100-1340-1850

Enfriadora:

Modelo			MUENR-05- H6	MUENR-07- H6
Código			CL 25 620	CL 25 621
Alimentación			220 - 240	
Refrigeración	Condiciones 1 ⁽¹⁾	Capacidad (min--máx)	5,0 (1,9--5,8)	7,0 (2,1--7,8)
		Consumo	1,55	2,25
		EER	3,23	3,11
	Condiciones 2 ⁽²⁾	Capacidad	5,60	8,00
		Consumo	1,15	1,85
		EER	4,87	4,32
Calefacción	Condiciones 3 ⁽³⁾	Capacidad (min--máx)	6,2 (2,1--7,0)	8,0 (2,3--9,0)
		Consumo	1,90	2,50
		COP	3,26	3,20
	Condiciones 4 ⁽⁴⁾	Capacidad	6,20	8,60
		Consumo	1,35	2,10
		SCOP	4,60	4,10

12.4.5 Calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

Fan-coil:

Artículo	Refrig. (W)	Calef. (W)	€
SUELO-TECHO SIN ENVOLVENTE 2 TUBOS			
MUC-11-SE4	2.830	4.300	321,00

Radiador

Nombre

Propiedades básicas

Capacidad nominal kW

Espacio

BdC:

		6 MR
Potencia en Calefacción (1)	kW	5,85
COP (1)		4,01
Potencia eléctrica (1)	kWe	1,46
Intensidad nominal (1)	A	6,80
Potencia en frío (2)	kW	4,40
EER (2)		4,15
Potencia eléctrica (2)	kWe	1,06
Intensidad nominal (2)	A	4,94
Tensión de alimentación	V	230 ~
Clase de Eficiencia en Calefacción a 35°C		A++
Clase de Eficiencia en Calefacción a 55°C		A+
Peso unidad exterior	kg	51
Referencia		7218096
PVP (3)		4.568 €

Bomba de calor aire-agua

Nombre

Propiedades básicas | Curvas

Capacidad nominal kW

Consumo nominal kW

12.4.6 Calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

Caldera				
Nombre <input type="text" value="SIS1_EQ2_EQ_Caldera-BajaTemperatura-Defecto"/>				
Propiedades básicas Curvas				
Capacidad Total	<input type="text" value="26.10"/>	kW		
Rendimiento nominal	<input type="text" value="1.060"/>			
Tipo energía	<input type="text" value="Gas Natural"/>			
	24/24 F	28/28 F	24 AF	
Potencia térmica nominal agua caliente	kW	24,0	28,0	-
Potencia térmica nominal Calefacción 80/60°C	kW	20,0	24,0	24,0
Potencia térmica nominal Calefacción 50/30°C	kW	21,8	26,1	26,1
Potencia térmica reducida Calefacción 80/60°C	kW	4,8	4,8	4,8
Clase de Eficiencia en Calefacción		A	A	A
Clase de Eficiencia en ACS / Perfil de demanda		A / XL	A / XL	-
Rendimiento a potencia nominal (50/30 °C)	%	105,8	105,8	105,8
Producción agua caliente sanitaria Δ 25°C (1)	l/min	13,8	16,1	-
Capacidad depósito expansión	l	7	7	7
Peso neto aproximado	kg	27	27	27
Longitud máx. conducto concéntrico 60/100 mm	m	10	10	10
Longitud máx. conducto concéntrico 80/125 mm	m	25	25	25
Longitud máx. conducto doble 80 mm (3)	m	80	80	80
Tipo de gas (2)		GN/GP	GN/GP	GN/GP
Referencia (4)		7657139	7657140	7678914
Referencia (5)		7660433	7660434	7678913
PVP		1.668 €	1.865 €	1.615 €

12.4.7 Sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío

	24/24 F	28/28 F	24 AF	
Potencia térmica nominal agua caliente	kW	24,0	28,0	-
Potencia térmica nominal Calefacción 80/60°C	kW	20,0	24,0	24,0
Potencia térmica nominal Calefacción 50/30°C	kW	21,8	26,1	26,1
Potencia térmica reducida Calefacción 80/60°C	kW	4,8	4,8	4,8
Clase de Eficiencia en Calefacción		A	A	A
Clase de Eficiencia en ACS / Perfil de demanda		A / XL	A / XL	-
Rendimiento a potencia nominal (50/30 °C)	%	105,8	105,8	105,8
Producción agua caliente sanitaria Δ 25°C (1)	l/min	13,8	16,1	-
Capacidad depósito expansión	l	7	7	7
Peso neto aproximado	kg	27	27	27
Longitud máx. conducto concéntrico 60/100 mm	m	10	10	10
Longitud máx. conducto concéntrico 80/125 mm	m	25	25	25
Longitud máx. conducto doble 80 mm (3)	m	80	80	80
Tipo de gas (2)		GN/GP	GN/GP	GN/GP
Referencia (4)		7657139	7657140	7678914
Referencia (5)		7660433	7660434	7678913
PVP		1.668 €	1.865 €	1.615 €

Mixto calefacción y ACS		demanda de ACS	
Nombre	SIS7_Mixto_calefaccion_y_ACS	Nombre	SIS7_ACS1_Demanda_de_ACS
Propiedades básicas		Propiedades básicas	
Fracción cubierta por el sistema solar térmico	68.06 %	Consumo total diario	112.00 l/día
Temperatura de impulsión sanitaria	60.0 °C	Temperatura de utilización	60.0 °C
Temperatura de impulsión calefacción	80.0 °C	Temperatura del agua de red	15.4 °C
Multiplicador	1		

Caldera	
Nombre	SIS7_EQ1_EQ_Caldera-ACS-Convencional-Defecto
Propiedades básicas	
Capacidad Total	24.00 kW
Rendimiento nominal	1.058
Tipo energía	Gas Natural
Multiplicador	1

Radiadores de agua:

ADRA 11 400 S									
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Presión máx. de trabajo bar	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cotas Alto (A) mm	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Entrecentros (B) mm	348	348	348	348	348	348	348	348	348
Longitud (C) mm	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Peso kg	5,7	7,0	8,4	9,7	11,0	12,3	13,6	15,0	16,3
Capacidad de agua l	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
Potencia $\Delta T = 50^\circ$ W	252	315	378	441	504	567	630	693	756
$\Delta T = 40^\circ$ W	189	236	283	330	377	424	471	519	566
Exponente "n" curva característica (1)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Referencia	7214398	7214399	7214400	7214401	7214402	7214403	7214404	7214405	7214406
PVP	46,20 €	50 €	54 €	56 €	63 €	71 €	80 €	87 €	96 €

ADRA 11 700 S											
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1500
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648
400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1500	
9,1	11,1	13,2	15,3	17,3	19,4	21,5	23,5	26,5	27,7	31,8	
1,6	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,9	
407	509	610	712	814	915	1017	1119	1220	1322	1526	
304	381	456	532	609	684	760	837	912	989	1141	
1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025
7214431	7214432	7214433	7214434	7214435	7214436	7214437	7214438	7214439	7214440	7214441	
55 €	64 €	77 €	89 €	103 €	116 €	128 €	141 €	153 €	167 €	192 €	

Radiador	
Nombre	SIS7_UT1_Radiador
Propiedades básicas	
Capacidad nominal	0.69 kW
Espacio	P01_E01

12.5 Catálogo económico de las posibles mejoras en equipos

12.5.1 Coste climatización unizona con autónomo frío/calor

Código	Modelo	Capacidad (W)		€
		Frío	Calor	
CL 20 041	MUPR-09-H9A	2.600	2.800	596,00

12.5.2 Coste climatización unizona con autónomo solo frío y radiador eléctrico

Código	Modelo	Capacidad (W)		€
		Frío	Calor	
CL 20 013	MUPO-07-C9 Solo frío	2.060	-	435,00



RADIADOR MERCALOR RM-11

- 2500W de potencia
- Termostato regulable
- Sistema automático de protección por sobrecalentamiento
- Pilotos luminosos de control. 11 elementos
- Con 4 ruedas
- Recogecables.
- Fácil limpieza

Código	Características	Uds.caja	€
MT01514	9E - 2000W	1	68,35

12.5.3 Coste climatización multizona con autónomo frío/calor

Código	Modelo	Capacidad (W)		€
		Frío	Calor	
UNIDADES EXTERIORES				
CL 20 440	MUEX-14-H6.2 (2x1)	4.100	4.400	1.111,00
CL 20 442	MUEX-21-H6.3 (3x1)	6.300	6.700	1.548,00

Unidad interior:

CL 20 450	MUPR-09-H6M	2.630	2.930	200,00
-----------	-------------	-------	-------	--------

12.5.4 Coste climatización multizona por conductos frío/calor

Unidades climatizadoras Baja silueta

Código	Modelo	Caudal aire calor Velocidad I - II - III (m³/h)	Caudal agua frío y calor Velocidad I - II - III (l/h)	Voltaje 50 Hz ~ V	Potencia absorbida nominal kW	Corriente absorbida nominal A	Conexiones agua Ø (")	€
CL 28 960	BHW 174	600 - 900 - 1050	542 - 696 - 760	230 I	0,20	1,0	3/4	821,00
CL 28 961	BHW 205	950 - 1130 - 1220	776 - 860 - 899	230 I	0,26	1,5	3/4	891,00
CL 28 962	BHW 358	1100 - 1340 - 1850	1042 - 1185 - 1442	230 I	0,51	2,45	3/4	1.119,00

Código	Modelo	Potencia (kW)		€
		Refrig.	Calef.	
BOMBA DE CALOR INVERTER				
CL 25 620	MUENR-05-H6	5	5,5	2.668,00
CL 25 621	MUENR-07-H6	7	8	2.900,00

12.5.5 Coste calefacción multizona por agua con BdC + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

Fan-coil:

Artículo	Refrig. (W)	Calef. (W)	€
SUELO-TECHO SIN ENVOLVENTE 2 TUBOS			
MUC-11-SE4	2.830	4.300	321,00

BdC:

		6 MR
Potencia en Calefacción (1)	kW	5,85
COP (1)		4,01
Potencia eléctrica (1)	kWe	1,46
Intensidad nominal (1)	A	6,80
Potencia en frío (2)	kW	4,40
EER (2)		4,15
Potencia eléctrica (2)	kWe	1,06
Intensidad nominal (2)	A	4,94
Tensión de alimentación	V	230 ~
Clase de Eficiencia en Calefacción a 35°C		A++
Clase de Eficiencia en Calefacción a 55°C		A+
Peso unidad exterior	kg	51
Referencia		7218096
PVP (3)		4.568 €

12.5.6 Coste calefacción multizona por agua con caldera de baja temperatura + fancoil y refrigeración con autónomo solo frío

	24/24 F	28/28 F	24 AF	
Potencia térmica nominal agua caliente	kW	24,0	28,0	-
Potencia térmica nominal Calefacción 80/60°C	kW	20,0	24,0	24,0
Potencia térmica nominal Calefacción 50/30°C	kW	21,8	26,1	26,1
Potencia térmica reducida Calefacción 80/60°C	kW	4,8	4,8	4,8
Clase de Eficiencia en Calefacción		A	A	A
Clase de Eficiencia en ACS / Perfil de demanda		A / XL	A / XL	-
Rendimiento a potencia nominal (50/30 °C)	%	105,8	105,8	105,8
Producción agua caliente sanitaria Δ 25°C (1)	l/min	13,8	16,1	-
Capacidad depósito expansión	l	7	7	7
Peso neto aproximado	kg	27	27	27
Longitud máx. conducto concéntrico 60/100 mm	m	10	10	10
Longitud máx. conducto concéntrico 80/125 mm	m	25	25	25
Longitud máx. conducto doble 80 mm (3)	m	80	80	80
Tipo de gas (2)		GN/GP	GN/GP	GN/GP
Referencia (4)		7657139	7657140	7678914
Referencia (5)		7660433	7660434	7678913
PVP		1.668 €	1.865 €	1.615 €

12.5.7 Coste sistema mixto de calefacción y ACS; con autónomo solo frío

ADRA 11 400 S									
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Presión máx. de trabajo	bar	10	10	10	10	10	10	10	10
Cotas	Alto (A)	mm	400	400	400	400	400	400	400
	Entrecentros (B)	mm	348	348	348	348	348	348	348
	Longitud (C)	mm	400	500	600	700	800	900	1000
Peso	kg	5,7	7,0	8,4	9,7	11,0	12,3	13,6	15,0
Capacidad de agua	l	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5
Potencia	$\Delta T = 50^\circ$	W	252	315	378	441	504	567	630
	$\Delta T = 40^\circ$	W	189	236	283	330	377	424	471
Exponente "n" curva característica (1)		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Referencia		7214398	7214399	7214400	7214401	7214402	7214403	7214404	7214405
PVP		46,20 €	50 €	54 €	56 €	63 €	71 €	80 €	87 €

ADRA 11 700 S										
400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1500
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648
400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1500
9,1	11,1	13,2	15,3	17,3	19,4	21,5	23,5	26,5	27,7	31,8
1,6	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,9
407	509	610	712	814	915	1017	1119	1220	1322	1526
304	381	456	532	609	684	760	837	912	989	1141
1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025	1,3025
7214431	7214432	7214433	7214434	7214435	7214436	7214437	7214438	7214439	7214440	7214441
55 €	64 €	77 €	89 €	103 €	116 €	128 €	141 €	153 €	167 €	192 €

12.6 Cálculo de CCV de las posibles mejoras en equipos

	Energía primaria no renovable [kWh]			Energía final [kWh]			Coste energía [€]			Coste adquisición de equipos [€]			CCV 30 años [k€]	E _{ptotal} [kWh/m ²]
	Calefacción	refrigeración	ACS	Calefacción	refrigeración	ACS	renovables	[€] al año	colector solar	calefacción	frío			
1.-ACS GLP + Split(frio/calor)	1767.35	1847.07	920.25	904.48	945.27	766.24	gratis	474.72	2004.00	2980	23.745	46.20	76.3	
2.-ACS GLP +Split(frio) +radiador eléctrico(calor)	3359.13	2381.30	920.25	1719.11	1218.68	766.24		702.11	2004.00	341.75	2175	67.86	94.9	
3.-ACS GLP +multisplit(frio/calor)	1864.38	1667.37	920.25	954.13	853.31	766.24		465.87	2004.00	3659	24.601	45.36	74.7	
4.-ACS GLP +centralizado todo aire(frio/calor)	1563.32	1344.22	920.25	800.06	687.93	766.24		399.11	2004.00	4019	23.046	39.00	70.1	
5.-ACS GLP +BdC-fancoil(calor) +split(frio)	1338.07	2381.39	920.25	684.79	1218.72	766.24		485.95	2004.00	6173	33.137	47.27	79.1	
6.-ACS GLP +CalderabajaT-fancoil(Calor) +split(frio)	1844.26	2381.39	920.25	1549.80	1218.72	766.24		448.22	2004.00	3220	26.949	52.43	72.3	
7.-Mixta ACS y calefacción: Caldera convencional- radiadores(calor) +split(frio)	1943.81	2381.29	815.98	1633.46	1218.68	685.70		412.41	2004.00	2258	24.173	52.38	72.3	

12.7 Catálogo paneles fotovoltaicos



MEIN KRAFTWERK-Set con microinversor		0,3 kWp	0,6 kWp	0,9 kWp	
Recomendado para el consumo anual de electricidad	kWh/a	500	1000	1500	
Número de módulos 300 Wp mono black MKB	Uds.	1	2	3	
Número de módulos 290 Wp design black MKD	Uds.	1	2	3	
Área del módulo	m ²	1,69	3,38	5,07	
Sets cubierta plana		€	665,-	1.315,-	1.989,-
300 Wp mono black, micro inversor	Matchcode	MKB01ES	MKB02ES	MKB03ES	
España	Código	SF02050	SF02051	SF02052	
290 Wp diseño amarillo, micro inversor	Matchcode	MKD01ES	MKD02ES	MKD03ES	
España	Código	SF02060	SF02061	SF02062	
Componentes set		€	51,-	127,-	-
Juego de cables (incl. enchufe)	Matchcode	VKSET1S	VKSET2S	-	
	Código	SF01031	SF01032	-	
Juego de cables	€	-	-	127,-	
	Matchcode	-	-	VKSET3	
	Código	-	-	SF01034	

REFERENCIAS

- [1] Herramienta unificada líder caleder (HULC) software
- [2] CHEQ4 software
- [3] PVGIS software
- [4] **Ministerio de fomento.** *Documento Básico HE Ahorro de energía*
- [5] **Ministerio de fomento.** *Documento Básico HS Salubridad*
- [6] **Gloria Georgina Jiménez, 2016.** *Estudio de alternativas para rehabilitación energética: Aplicación a manzana cerrada en Parque Alcosa (Sevilla)*
- [7] **Grupo termotécnica.** *Coste de ciclo de vida y periodo de recuperación del capital.*
- [8] **Salvador Escoda.** Catálogo de precios de equipos.
- [9] *UNE-EN ISO 52016-1:2017*
- [10] **IDAE.** *Balance del consumo de energía final 2018*
- [11] **IDAE.** *Consumos de energía final por usos del sector residencial 2018*