

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Producción innovadora de ACS, refrigeración y electricidad para edificio de viviendas en Camas (Sevilla)

Autor: Alonso Jesús Márquez Durán

Tutores: Servando Álvarez Domínguez, Teresa Rocío Palomo Amores

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

Sevilla, 2024



Trabajo de Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Producción innovadora de ACS, refrigeración y electricidad para edificio de viviendas en Camas (Sevilla)

Autor:

Alonso Jesús Márquez Durán

Tutores:

Servando Álvarez Domínguez

Teresa Rocío Palomo Amores

Departamento de Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Máster: Producción innovadora de ACS, refrigeración y electricidad para edificio de viviendas en Camas (Sevilla)

Autor: Alonso Jesús Márquez Durán

Tutores: Servando Álvarez Domínguez,
Teresa Rocío Palomo Amores

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

*A quienes confiaron en mi
Incluso cuando yo no lo hacía.*

Agradecimientos

La entrega, y posterior defensa de este trabajo supone llegar al final de una etapa importante en mi vida, una etapa de seis años incluyendo grado y máster que me ha forjado como ingeniero industrial así como en muchos otros aspectos importantes, como la resiliencia, la constancia, la paciencia, etc.

El llegar hasta aquí no ha sido para nada fácil, por lo que es lo justo agradecer y hacer mención a todas aquellas personas que de alguna manera me han ayudado en la consecución de todos los objetivos que me he propuesto, a mi familia, a mis padres, mis hermanos, y a mis amigos, con especial mención a mi gran amigo Alejandro, sólo ellos conocen de primera mano el sacrificio que ha supuesto conseguirlo. Ellos han sido esas alas que he necesitado en los peores momentos, y que me han permitido volar hasta aquí.

Quiero acordarme especialmente también de mis tutores Servando y Teresa, y agradecerles por tener la paciencia de sentarse a escucharme y ayudarme cuando lo he necesitado para sacar adelante este trabajo, así como de haberme dado la oportunidad de cerrar esta etapa de la mano de su tutela.

A todos ellos muchas gracias, hoy nace un nuevo Ingeniero Industrial y prometo estar a la altura que esta gran profesión requiere.

Alonso Jesús Márquez Durán

Sevilla, 2024

En este Trabajo de Fin de Máster se lleva a cabo un análisis de un edificio existente en la localidad de Camas (Sevilla), y que ha sido estudiado previamente en un trabajo realizado a lo largo de la asignatura de *Edificios de Alta Eficiencia Energética* del Máster de Ingeniería Industrial. En dicho trabajo de partida se llevó un análisis centrado en buscar la solución constructiva óptima en términos de Coste del Ciclo de Vida y teniendo en cuenta el cumplimiento de los parámetros energéticos establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Así, partiendo de este análisis, se elige una solución constructiva intermedia entre la inicial que posee el edificio y la calculada como óptima en dicho trabajo, de manera que permita cierto margen de mejora a la hora de analizarlo, sobre todo en términos de consumos energéticos. Por tanto, las características constructivas son datos de partidas que se establecen de entre las soluciones planteadas de antemano, y de ahí en adelante no se modificarán.

Dicho esto, tras explicar las bases de partida, se establece qué instalación convencional para cubrir los diferentes tipos de demandas tendría el edificio en su base de inicio, teniendo en cuenta que esta solución de antemano ha de cumplir la normativa vigente en el CTE.

Tras esto, se propone una instalación que combine lo establecido como actualmente existente (instalación convencional) junto con sistemas innovadores que permitan reducir el consumo de los equipos existentes y añadan también valor renovable a la instalación. Esta instalación consta de dos soluciones innovadoras renovables, una de ellas utilizada para reducir el consumo de electricidad de la bomba de calor en modo refrigeración, mediante una técnica poco conocida aún, consistente en el pre-enfriamiento convectivo-radiante del agua destinada a la refrigeración durante las noches y acumulándolo en un depósito de inercia, y la otra tendrá como objetivo reducir de igual manera el consumo de ACS por parte de los equipos actuales, empleando para ello energía fotovoltaica que servirá para calentar un depósito de acumulación a fin de pre-calentar el agua destinada a generación de ACS, y que en caso de excedente se vende a la red eléctrica.

A partir de ahí se lleva a cabo una simulación temporal determinada para cada depósito a fin de analizar qué combinación de variables (volumen de cada depósito y área de captación) se corresponde a la solución más óptima en cuanto al coste económico de su ciclo de vida y teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa vigente aplicable, añadiendo también en el cálculo económico la aplicación de líneas de subvenciones para aquellas soluciones que cumplan los requisitos, de modo que cubran parte del coste de instalación.

In this Master's Thesis, an analysis of an existing building in the town of Camas (Seville) is carried out, which has been previously studied in a work carried out during the course on *High Energy Efficiency Buildings* of the Master's Degree in Industrial Engineering. In this initial work, an analysis focused on finding the optimal construction solution in terms of Life Cycle Cost and taking into account compliance with the energy parameters established in the *Código Técnico de la Edificación (CTE)*.

Thus, based on this analysis, an intermediate constructive solution is chosen between the initial one that the building has and the one calculated as optimal in this work, so that it allows some room for improvement when analysing it, especially in terms of energy consumption. Therefore, the constructive characteristics are starting data that are established from among the solutions proposed beforehand, and from then on they will not be modified.

Having said this, after explaining the starting bases, it is established which conventional installation to cover the different types of demands the building would have at its starting base, bearing in mind that this solution must comply with the current regulations in the CTE.

After this, an installation is proposed that combines what is currently established as existing (conventional installation) together with innovative systems that reduce the consumption of existing equipment and also add renewable value to the installation. This installation consists of two innovative renewable solutions, one of them used to reduce the electricity consumption of the heat pump in cooling mode, by means of a technique that is still little known, consisting of convective-radiant pre-cooling of the water used for cooling during the nights and accumulating it in a buffer tank, The other will also aim to reduce the consumption of DHW by the current equipment, using photovoltaic energy to heat an accumulation tank to pre-heat the water used to generate DHW, which in the event of a surplus is sold to the electricity grid.

From there, a specific time simulation is carried out for each tank in order to analyse which combination of variables (volume of each tank and collection area) corresponds to the most optimal solution in terms of the economic cost of its life cycle and taking into account compliance with current applicable regulations, also adding in the economic calculation the application of lines of subsidies for those solutions that meet the requirements, so that they cover part of the cost of installation.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	- 1 -
1.1. <i>Objetivos</i>	- 1 -
1.2. <i>Alcance</i>	- 1 -
1.3. <i>Limitaciones</i>	- 1 -
2 Base de partida	- 3 -
2.1. <i>Edificio objeto de estudio</i>	- 3 -
2.1.1 Descripción y emplazamiento	- 3 -
2.1.2 Elementos constructivos (situación de partida)	- 6 -
2.1.3 Operación del bloque de viviendas	- 7 -
2.1.4 Reglamentación aplicable	- 9 -
2.2. <i>Software empleado</i>	- 10 -
2.2.1. DSGCode	- 10 -
2.2.2. Hojas de cálculo	- 12 -
2.3. <i>Comportamiento del edificio en el Caso Inicial del Trabajo de Base</i>	- 12 -
2.3.1. Parámetros característicos	- 12 -
2.3.2. Temperatura de oscilación Libre	- 13 -
2.3.3. Demanda de calefacción y refrigeración	- 14 -
2.4. <i>Elección de la solución constructiva a utilizar en el edificio (Caso intermedio)</i>	- 14 -
2.4.1. Criterio de elección: Curvas Energía-CCV del trabajo de partida	- 14 -
2.4.2. Parámetros característicos	- 16 -
2.4.3. Temperatura de oscilación Libre	- 17 -
2.4.4. Energía demandada por el edificio	- 17 -
3. Soluciones a implementar	- 21 -
3.1. <i>Instalación convencional de partida</i>	- 21 -
3.2. <i>Instalación propuesta: Sistema natural de pre-enfriamiento del agua del equipo autónomo (bomba de calor)</i>	- 22 -
3.2.1. Modelado del calor disipado por la noche mediante <i>falling film</i> .	- 24 -
3.3. <i>Instalación propuesta: paneles fotovoltaicos como generación de energía eléctrica</i>	- 25 -
3.3.1. Modelado de un módulo fotovoltaico	- 25 -
3.3. <i>Instalación propuesta: Sistema de ACS</i>	- 29 -
3.3.1. Aplicación de la potencia fotovoltaica generada	- 30 -
3.3.2. Calderas de gas natural para calentamiento auxiliar del ACS	- 32 -
4. Desarrollo del cálculo	- 33 -
4.1. <i>Análisis del depósito del 'falling-film'</i>	- 33 -

4.1.1. Procedimiento a seguir	- 33 -
4.1.2. Análisis de sensibilidad	- 33 -
4.1.3. Pre-selección inicial del sistema <i>falling-film</i>	- 34 -
4.2. Análisis de los paneles fotovoltaicos	- 35 -
4.2.1. Curva de comportamiento del módulo fotovoltaico	- 35 -
4.2.2. Obtención de la potencia fotovoltaica generada	- 36 -
4.3. Análisis del depósito de acumulación de ACS	- 38 -
4.3.1. Procedimiento a seguir	- 38 -
4.3.2. Algunos resultados de la simulación	- 38 -
4.3.3. Análisis de sensibilidad	- 40 -
4.3.4. Pre-selección inicial del sistema de ACS propuesto	- 43 -
4.4. Comparación de soluciones	- 44 -
5. Análisis tecno-económico de las soluciones	- 46 -
5.1. Cálculo del Coste del Ciclo de Vida	- 46 -
5.2. Datos económicos utilizados	- 46 -
5.3. Cumplimiento del Código Técnico	- 47 -
5.4. Línea de subvención aplicable	- 48 -
5.5. Resultados obtenidos	- 49 -
6. Conclusiones	- 52 -
Referencias	- 54 -
ANEXOS	- 56 -
ANEXO A – BASE DE PARTIDA	- 56 -
1. Resto de Vistas del Edificio de Partida	- 56 -
2. Comportamiento del edificio en el Caso del Óptimo Reglamentario	- 57 -
2.1. Parámetros característicos	- 58 -
2.2. Temperatura de oscilación Libre	- 58 -
ANEXO B – CÁLCULOS	- 60 -
1. Horarios de funcionamiento y fuentes internas (Base de partida)	- 60 -
2. Agua caliente sanitaria (ACS)	- 60 -
3. Factores de sombra del edificio	- 61 -
4. Cálculo del SCOP de la Bomba de Calor de la instalación convencional	- 62 -
5. Mediciones para la realización de la gráfica del factor de utilización	- 63 -
6. Resultados del Análisis de sensibilidad del <i>falling-film</i> en términos de energía disipada	- 64 -
7. Resultados de las distintas combinaciones de la simulación del depósito ACS	- 64 -
8. Cálculo de los costes de las instalaciones propuestas	- 70 -
9. Cálculo del HE0 y HE4 de las instalaciones propuestas	- 76 -
10. Cálculo del Coste del Ciclo de Vida de cada solución planteada	- 81 -
11. Hoja de cálculos de las simulaciones de los depósitos y de obtención de resultados de los análisis	- 82 -
-	
ANEXO C – PLANOS	- 83 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Horarios de funcionamiento y fuentes internas	- 7 -
Tabla 2-2. Demanda de ACS Mensual	- 9 -
Tabla 2-3. Parámetros característicos a nivel de componentes en la situación inicial	- 13 -
Tabla 2-4. Factores de sombra para cada orientación del edificio.	- 13 -
Tabla 2-5. Demanda mensual en kWh de Calefacción y Refrigeración para la situación inicial del edificio	- 14 -
Tabla 2-6. Parámetros característicos a nivel de componentes en la solución intermedia escogida.	- 16 -
Tabla 2-7. Demanda mensual en kWh de Calefacción y Refrigeración para la situación elegida	- 18 -
Tabla 2-8. Perfil diario de ACS (en porcentaje)	- 18 -
Tabla 2-9. Demanda diaria para cada mes de junio a septiembre	- 20 -
Tabla 2-10. Valores de demanda horaria para los días tipo de los meses de junio a septiembre	- 20 -
Tabla 3-1. Coeficientes de ajustes de las curvas del modelo	- 28 -
Tabla 4-1. Datos del módulo fotovoltaico elegido (Condiciones estándar STC)	- 35 -
Tabla 4-2. Valores de τ y de aH para cada volumen	- 42 -
Tabla 4-3. Tabla de resultados obtenidos para 31.5 m ² y 500 L	- 42 -
Tabla 4-4. Comparación de operación de las distintas soluciones propuestas con respecto a la convencional	- 44 -
Tabla 5-1. Costes de las instalaciones innovadoras utilizados	- 47 -
Tabla 5-2. Valores obtenidos de Energía Primaria No Renovable y Energía Primaria Total para cada solución.	- 48 -
Tabla 5-3. Determinación de soluciones subvencionables y porcentaje subvencionado sobre coste de instalación	- 49 -
Tabla 0-1. Parámetros característicos a nivel de componentes en la solución óptima reglamentaria.	- 58 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Situación del bloque de edificios a estudiar	- 4 -
Figura 2-2. Vista en planta del edificio (Planta Baja)	- 4 -
Figura 2-3. Vista en planta del edificio (Planta Primera)	- 5 -
Figura 2-4. Vista en planta del edificio (Planta Segunda)	- 5 -
Figura 2-5. Interfaz principal del programa DSGCODE	- 11 -
Figura 2-6. Definición geométrica y constructiva del edificio en <i>DSGCode</i> .	- 11 -
Figura 2-7. Interfaz de ejemplo de muestra de resultados por el programa <i>DSGCode</i>	- 12 -
Figura 2-8. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso inicial de partida del trabajo de base.	- 14 -
Figura 2-9. Energía primaria total frente a CCV trabajo de partida. Elección solución intermedia.	- 15 -
Figura 2-10. Energía primaria no renovable frente a CCV trabajo de partida. Elección solución intermedia	- 15 -
Figura 2-11. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso intermedio elegido para el edificio.	- 17 -
Figura 3-1. Esquema de principio de funcionamiento del ACS en la solución convencional planteada. Elaboración propia.	- 22 -
Figura 3-2. Esquema de principio de funcionamiento del sistema de pre-enfriamiento del agua por <i>falling-film</i> . Elaboración propia.	- 23 -
Figura 3-3. Circuito equivalente de la célula solar. Recuperado de [4]	- 26 -
Figura 3-4. Curva I-V (a) y Curva P-V (b) de un módulo fotovoltaico. Recuperado de [4]	- 27 -
Figura 3-5. Esquema de principio de funcionamiento del ACS en la instalación propuesta. Elaboración propia.	- 30 -
Figura 3-6. Ciclo de histéresis empleado en el depósito de ACS.	- 31 -
Figura 4-1. Análisis de sensibilidad del porcentaje de contribución por <i>falling film</i> en función del volumen y el área.	- 34 -
Figura 4-2. Curva de comportamiento I-V del panel seleccionado en condiciones STC	- 36 -
Figura 4-3. Curva de comportamiento P-V del panel seleccionado en condiciones STC	- 36 -
Figura 4-4. Potencia PV generada frente a Irradiancia total incidida para el 1 de junio.	- 37 -
Figura 4-5. Oferta vs Demanda para un área de captación de 21 m ² y un volumen de 1000 L para el 15-junio	- 38 -
Figura 4-6. Oferta vs Demanda para un área de captación de 31.5 m ² y un volumen de 1000 L para el 15-junio	- 39 -
Figura 4-7. Qaux frente a Demanda + Temperatura del depósito, para un área de captación de 31.5 m ² y un volumen de 500 L	- 39 -
Figura 4-8. Qaux frente a Demanda + Temperatura del depósito, para un área de captación de 31.5 m ² y un volumen de 1500 L	- 40 -
Figura 4-9. Gráfica para obtención del factor de utilización empleada en la norma ISO 13790:2004	- 41 -
Figura 4-10. Factor de utilización frente a γ para un área de captación de 31.5 m ²	- 41 -
Figura 4-11. Análisis de sensibilidad del porcentaje cubierto sobre ACS, en función del área y el volumen.	-

Figura 5-1. Importe de las subvenciones de la Línea 3 del Plan Eco Vivienda de la Junta de Andalucía. Recuperado de [11]	- 49 -
Figura 5-2. Energía Primaria No Renovable frente al CCV de las soluciones planteadas	- 50 -
Figura 5-3. Energía Primaria Total frente al CCV de las soluciones planteadas	- 50 -
Figura 0-1. Vista en Planta del Edificio Objeto de Estudio (Cubierta)	- 56 -
Figura 0-2. Alzado del edificio (Fachada exterior)	- 57 -
Figura 0-3. Alzado del edificio (Fachada patio)	- 57 -
Figura 0-4. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso óptimo reglamentario	- 58 -
Figura 0-5. Análisis de sensibilidad de la energía disipada por <i>falling film</i> en función del volumen y el área.	- 64 -
Figura 0-6. Captura de pantalla de la hoja de cálculo de la simulación del depósito de falling-film	- 82 -
Figura 0-7. Captura de pantalla de la hoja de cálculo de la simulación del depósito de ACS	- 82 -

1 INTRODUCCIÓN

La búsqueda de la mejora de la eficiencia energética de los edificios es una de los aspectos que cada vez están adquiriendo más relevancia en el mundo de la construcción hoy en día, pues es una cuestión muy importante de cara a velar por la sostenibilidad del planeta el intentar construir edificios cada vez más sostenibles y que hagan una mejor utilización de los recursos renovables y técnicos de los que disponemos hoy en día. Eso se ve reflejado en las imposiciones normativas cada vez más estrictas en este sentido. Es por ello por lo que resulta bastante interesante adentrarse en todo este mundo, y analizar y proponer soluciones innovadoras que sean beneficiosas en cuanto a la mejora de los edificios en este aspecto.

1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo en primer lugar es el de aplicar los conocimientos adquiridos en términos de eficiencia energética y ponerlos en funcionamiento en torno a un caso real de un edificio de viviendas existente, de manera que se pueda mostrar la utilidad práctica de todo los conocimientos aprendidos.

Además se tiene como objetivo de aprendizaje el aprender a simular distintos modelos físicos de comportamiento de los sistemas, como es el caso de la generación fotovoltaica de los paneles o de la acumulación térmica del agua de los depósitos, comprobando y analizando que los resultados que se obtienen vayan en consonancia con el cómo se comportaría en la realidad.

Por último, en cuanto a cálculo, el objetivo es ser capaz de proponer soluciones innovativas con el fin de mejorar la eficiencia energética del edificio sin tener que reducir los consumos actuales, y que en estas soluciones estén integradas fuentes de generación de carácter naturales y renovables, así como compararlas y ser capaz de elegir aquella más óptima según unos criterios determinados.

1.2. Alcance

En primer lugar, el presente trabajo abarca a un total de seis viviendas de un edificio existente en Camas (Sevilla).

El alcance en cuanto a detalle es el necesario para abarcar como Trabajo de Fin de Máster, no se trata de un proyecto real en cuanto a las instalaciones, por lo que no se llevarán a cabo mediciones detalladas de los elementos que forman parte de las instalaciones en cuanto al análisis económico, no presentándose un presupuesto. Además algunos parámetros utilizados para el cálculo económico han sido estimados y simplificados, puesto que no es el objeto principal entrar en detalle.

De igual manera, tampoco se presentarán planos de detalle de las instalaciones, el trabajo consta de cálculos teóricos-prácticos enfocados al análisis energético conceptualmente, no entrando en detalle de instalación de los distintos sistemas (fotovoltaica, falling-film, etc.), aunque sí se presentarán esquemas de principio de funcionamiento.

Los distintos análisis no incluyen el estudio del HE1, para lo que se elige una solución constructiva como partida que garantiza su cumplimiento gracias a lo estudiado en el trabajo de base.

1.3. Limitaciones

En cuanto al desarrollo del cálculo de este trabajo, se cuenta con las siguientes limitaciones:

- No se tendrán en cuenta pérdidas de calor a través de los diferentes elementos de las instalaciones, con el objetivo de simplificar el cálculo, centrándolo en lo verdaderamente interesante de estudiar.

- Debido a limitaciones técnicas de software, el paso de tiempo más bajo que se utilizará será un paso de tiempo diezminutal, por lo que tal vez las simulaciones difieran un poco de lo que se obtendría con un paso de tiempo menor, como ocurre en la realidad. No obstante, con este paso de tiempo es más que suficiente para la simulación del comportamiento de los depósitos.
- Los distintos cálculos están planteados para un año climático tipo, cuyos parámetros de cálculo provienen del archivo climático de Sevilla, por lo que al ser una media histórica de las distintas variables climáticas, puede variar considerablemente de lo que ocurriría en un año actual o futuro. Sin embargo, de cara a los análisis que se van a realizar es lo más práctico y es suficiente para estimar los resultados.

2 BASE DE PARTIDA

Como base de partida del presente Trabajo de Fin de Máster, se ha tomado un trabajo elaborado en grupo, en la asignatura optativa de *Edificios de Alta Eficiencia Energética*, de la titulación del Máster de Ingeniería Industrial, del segundo curso.

Este trabajo realizado en dicha asignatura tenía el objetivo de analizar desde el punto de vista de la eficiencia y mejora energética, un edificio real, proporcionado por los profesores del departamento.

En dicho trabajo se parte de unas características constructivas iniciales del edificio, y con la ayuda de un software desarrollado por el departamento de Termotecnia de la E.T.S.I, denominado *DSGCode*, incorporando estos parámetros junto con parámetros de tipo climático y otros relacionados con la demanda de ACS, ocupación y el horario de funcionamiento de diferentes equipos, se consigue obtener las diferentes demandas energéticas de refrigeración y calefacción mensuales y horarias del edificio a lo largo de un año tipo, así como la temperatura interior, la cual se denominaría *temperatura de oscilación libre* en el caso de que no hubiese funcionamiento de los equipos de refrigeración y calefacción.

Una vez obtenidos estas demandas, se lleva a cabo un cálculo más elaborado, mediante un procedimiento con coeficientes correctores que mejoran el procedimiento simplificado previamente realizado.

Posteriormente, se lleva a cabo una búsqueda de la mejora del edificio, según la variación de diferentes parámetros constructivos (transmitancias, factores solares de las ventanas, permeabilidad de los huecos, etc.), dando lugar a la aparición de múltiples combinaciones. Mediante una hoja de cálculo se incorpora además el *CCV* (coste del ciclo de vida), añadiendo los diferentes costes que supone cada mejora. Comparando el *CCV* frente a la energía primaria total y energía renovable total, se filtran aquellas soluciones que hagan que se cumplan tanto las restricciones del HE0 como las soluciones del HE1, buscándose así el óptimo reglamentario y comparando las diferencias entre esta situación y la original.

2.1. Edificio objeto de estudio

2.1.1 Descripción y emplazamiento

En primer lugar se describe el edificio a utilizar en el presente trabajo, a fin de conocer sus características geométricas, los elementos que posee, su emplazamiento y su orientación.

El edificio a estudiar se trata de un bloque de viviendas VPO ubicado en el municipio sevillano de Camas, calle Guadalquivir. Este bloque consta de tres plantas, con dos viviendas en cada una y colinda con otro edificio de características muy similares.

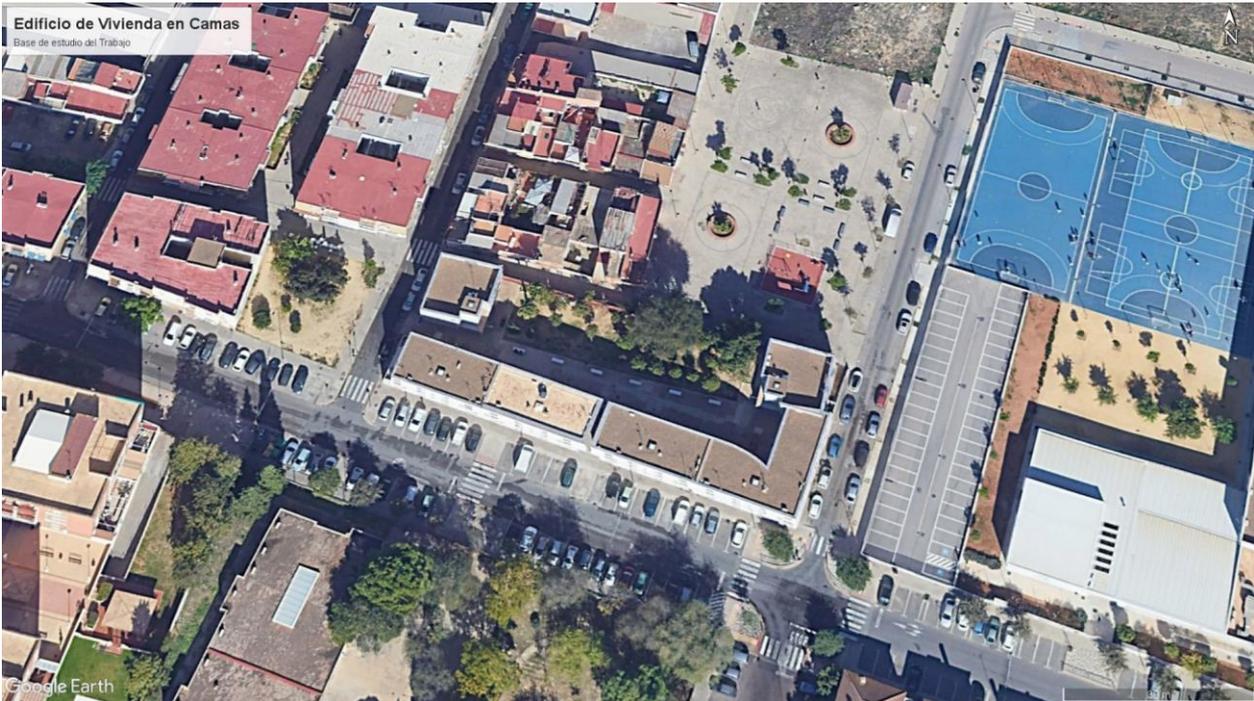


Figura 2-1. Situación del bloque de edificios a estudiar

Se presenta a continuación las principales vistas en planta (el resto de vistas pueden encontrarse en Anexo A-Base de Partida, y los planos originales donde aparece el edificio colindante al de estudio en Anexo C-Planos)

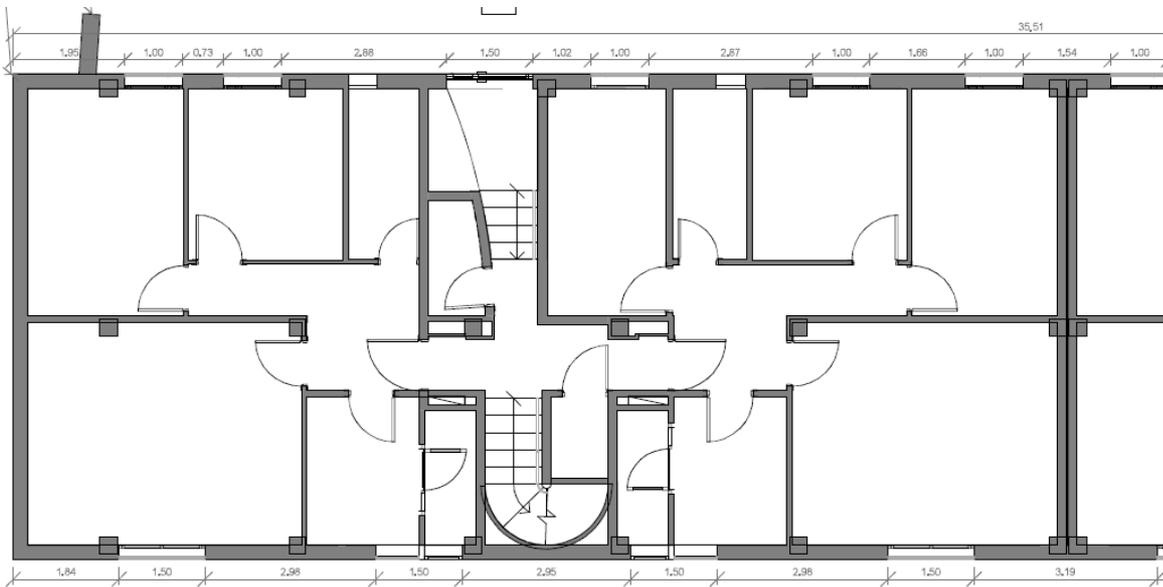


Figura 2-2. Vista en planta del edificio (Planta Baja)

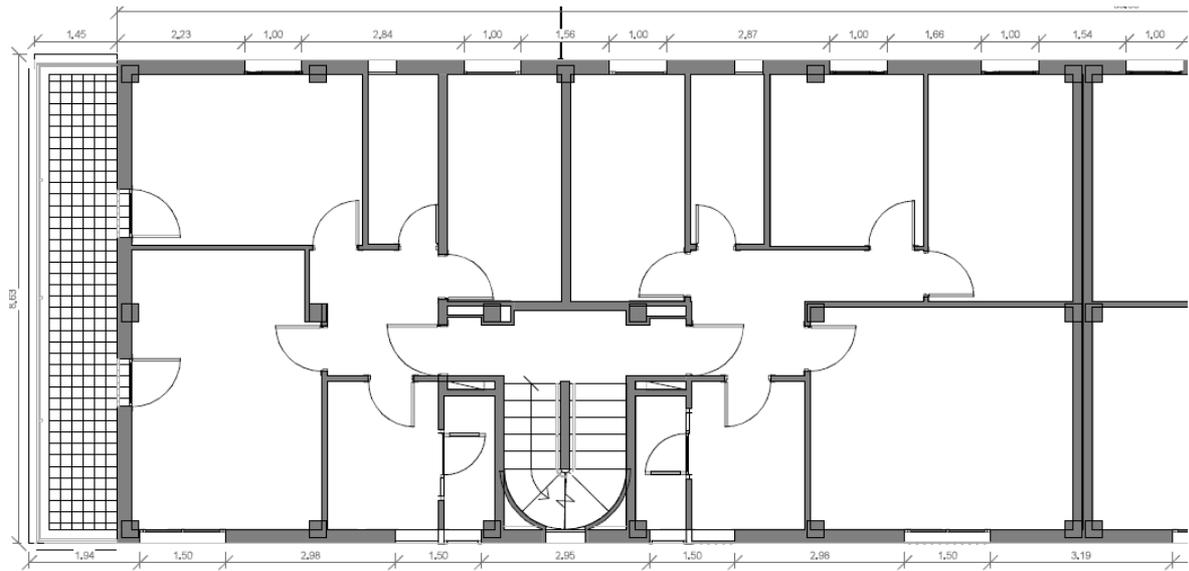


Figura 2-3. Vista en planta del edificio (Planta Primera)

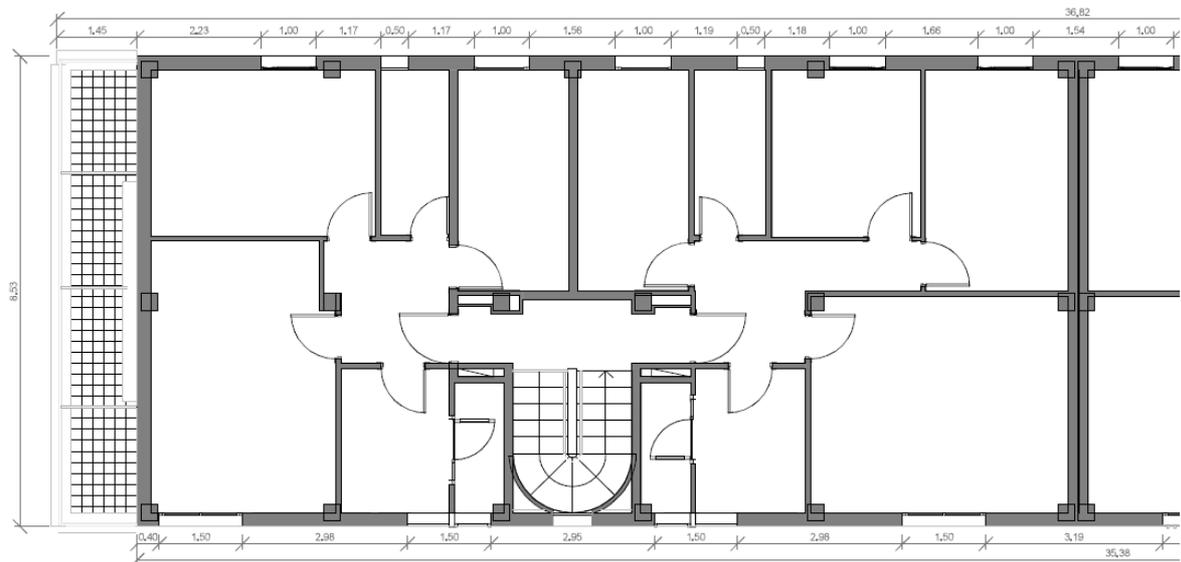


Figura 2-4. Vista en planta del edificio (Planta Segunda)

El edificio, con planta de forma rectangular, colinda por su cara orientada al sureste con otro edificio acondicionado, por lo que no se considerará de cara al estudio, debido a que se toma como hipótesis que no hay transmisión de calor entre los edificios a través de la medianera. Las fachadas restantes tienen orientaciones noreste, noroeste y suroeste.

La planta baja posee ligeramente más superficie construida ($156,78 \text{ m}^2$) que la primera y la segunda planta ($144,41 \text{ m}^2$). Además, la primera planta cuenta con una pequeña terraza colocada en el saliente de la planta baja en su cara noroeste, mientras que la segunda planta no cuenta con esta terraza. La altura de la planta baja es ligeramente inferior ($2,65 \text{ m}$) a la de la primera y la segunda planta ($2,70 \text{ m}$). El volumen de la planta baja es de $415,47 \text{ m}^3$, y el de la primera y la segunda planta es de $389,91 \text{ m}^3$.

Los huecos de las ventanas son de distintos tamaños. Mientras que la cara noreste cuenta con tamaños de ventana de $1,00 \text{ m}$ y $0,50 \text{ m}$ de ancho, en la cara suroeste el ancho es de $1,50 \text{ m}$ y $0,70 \text{ m}$. En la cara noreste se encuentra la entrada al bloque de viviendas.

En cuanto a la envuelta del edificio, las superficies de muro, de huecos y la total por orientaciones son las siguientes:

- Fachada noreste:
 - Superficie de muros: $122,52 \text{ m}^2$

- Superficie de huecos: 17,68 m²
- Superficie total: 140,20 m²
- Fachada noroeste:
 - Superficie de muros: 65,64 m²
 - Superficie de huecos: 3,30 m²
 - Superficie total: 68,94 m²
- Fachada sureste:
 - Superficie de muros: 110,83 m²
 - Superficie de huecos: 29,14 m²
 - Superficie total: 139,97 m²
- Cubierta.
 - Superficie: 145,01 m².

En conjunto, el edificio posee un área de muro total de 298,99 m², un área de huecos total de 50,12 m² y, por tanto, una superficie de fachada total de 349,11 m², además de los 145,01 m² de cubierta.

2.1.2 Elementos constructivos (situación de partida)

Como se ha comentado anteriormente, en dicho trabajo realizado, se tiene como dato de partida las características constructivas del edificio en la situación de partida. A partir de estas características se pueden calcular distintos parámetros que serán necesarios para obtener las demandas energéticas del inmueble.

Los datos relacionados con la transmitancia de los muros de fachada son los siguientes:

- Cámara de aire: resistencia térmica, 0.19 (m² · K)/W.
- Mortero de cemento: espesor, 0.02 m ; conductividad térmica, 0.55 W/(m · K).
- Medio pie LP: espesor, 0.115 m ; conductividad térmica, 0.667 W/(m · K).
- Tabique de LH: espesor, 0.04 m ; conductividad térmica, 0.445 W/(m · K).
- Enlucido de yeso: espesor, 0.02 m ; conductividad térmica, 0.57 W/(m · K).
- Resistencia superficial exterior, 0.04 (m² · K)/W. Se obtiene de la *Tabla 1* del DA DB - HE / I.
- Resistencia superficial interior, 0.13 (m² · K)/W. Se obtiene de la *Tabla 1* del DA DB - HE / I.

Con los datos anteriores, se obtiene una transmitancia de muros de 1.44 W/(m² · K).

Los datos relacionados con los cerramientos semitransparentes son los siguientes:

- Transmitancia acristalamiento (vidrio simple), 5.70 W/(m² · K).
- Factor solar acristalamiento (vidrio simple), 0.76.
- Transmitancia marcos (ventana abisagrada), 5.70 W/(m² · K).
- Absortividad marcos (ventana abisagrada), 0.40.
- Fracción de hueco cubierto por marco, 0.25.

Con los datos anteriores, se obtiene una transmitancia y factor solar de cerramientos semitransparentes de 5.70 W/(m² · K) y 0.59, respectivamente.

Los datos relacionados con la transmitancia de la cubierta son los siguientes:

- Arena y grava: espesor, 0.07 m ; conductividad térmica, 2.00 W/(m · K).

- XPS con CO₂: espesor, 0.04 m ; conductividad térmica, 0.034 W/(m · K).
- Hormigón celular: espesor 0.10 m ; conductividad térmica, 0.18 W/(m · K).
- Forjado unidireccional: espesor, 0.30 m ; conductividad térmica, 1.492 W/(m · K).
- Resistencia superficial exterior, 0.04 (m² · K)/W. Se obtiene de la *Tabla 1* del *DA DB - HE / 1*.
- Resistencia superficial interior, 0.10 (m² · K)/W. Se obtiene de la *Tabla 1* del *DA DB - HE / 1*.

Con los datos anteriores, se obtiene una transmitancia de cubierta de 0.47 W/(m² · K).

2.1.3 Operación del bloque de viviendas

2.1.3.1 Horarios de funcionamiento y fuentes internas

Se calculó una ocupación del bloque de edificio de 22 personas. Puede observarse dicho cálculo en el Anexo B.

Además, en cuanto a los horarios de funcionamiento de los equipos, se establece que el periodo de calefacción abarcará los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, mientras que el periodo de refrigeración abarcará los meses de junio a septiembre. Se puede observar el horario diario en la siguiente tabla.

Tabla 2-1. Horarios de funcionamiento y fuentes internas

Hora	Horario Calefacción	Horario Refrigeración	Ocupación (<i>personas</i>)	Iluminación (W/m ²)	Equipos (W/m ²)
1	1	1	22	0.44	0.44
2	0	0	22	0.44	0.44
3	0	0	22	0.44	0.44
4	0	0	22	0.44	0.44
5	0	0	22	0.44	0.44
6	0	0	22	0.44	0.44
7	1	0	22	0.44	0.44
8	1	0	8	1.32	1.32
9	1	0	8	1.32	1.32
10	1	0	8	1.32	1.32
11	0	0	8	1.32	1.32
12	0	0	8	1.32	1.32
13	0	1	8	1.32	1.32
14	0	1	8	1.32	1.32
15	0	1	14	1.32	1.32
16	0	1	14	1.32	1.32

17	0	1	14	1.32	1.32
18	1	1	14	1.32	1.32
19	1	1	14	2.20	2.20
20	1	1	14	4.40	4.40
21	1	1	22	4.40	4.40
22	1	1	22	4.40	4.40
23	1	1	22	4.40	4.40
24	1	1	22	2.20	2.20

Se supone que la ocupación no será siempre la máxima, estimándose las personas que estarán en el bloque de viviendas en cada hora del día en la Tabla 2-1.

Las cargas internas de iluminación y equipos se obtienen de la Tabla b - Anejo D, del DB - HE, en la que se establece el perfil de uso de espacios en uso residencial privado.

Las temperaturas de consigna alta y baja son, respectivamente, 25 °C y 20 °C.

La aplicación de sombras móviles y ventilación nocturna será en los meses de refrigeración, de junio a septiembre, en los que no se utilizará calefacción (tampoco se empleará refrigeración en el resto de los meses).

2.1.3.2 Ventilación

Se emplea como parámetro de infiltración al edificio unas renovaciones/hora de 0,58 para el caso de estudio inicial.

La ventilación nocturna en régimen de verano se estima en 4 h⁻¹ para la situación inicial del edificio.

2.1.3.3 Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Aplicando lo establecido en el Código Técnico de la Edificación, CTE (ver anexo de cálculo) obtiene la siguiente tabla de demanda de ACS mensual.

Tabla 2-2. Demanda de ACS Mensual

Mes	m_{ACS} (m^3/mes)	T_{AF} ($^{\circ}C$)	DEM_{ACS} (kWh/mes)
Enero	14.84	11.00	843.66
Febrero	13.41	11.00	762.02
Marzo	14.84	13.00	809.23
Abril	14.36	14.00	766.46
Mayo	14.84	16.00	757.58
Junio	14.36	19.00	683.15
Julio	14.84	21.00	671.49
Agosto	14.84	21.00	671.49
Septiembre	14.36	20.00	666.49
Octubre	14.84	16.00	757.58
Noviembre	14.36	13.00	783.13
Diciembre	14.84	11.00	843.66

2.1.4 Reglamentación aplicable

La reglamentación aplicable del *DB - HE0, Limitación del consumo energético* [1], es la siguiente:

- $C_{ep,tot,lim}$: Este parámetro limita el consumo de energía primaria total del edificio.

Para su cálculo, se utiliza la *Tabla 3.2.a - HE0*, teniendo en cuenta la zona climática de invierno de Sevilla, “B”, y que se trata de un edificio existente, en el que se realizan reformas.

$$C_{ep,tot,lim} = 80.00 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

- $C_{ep,nren,lim}$: Este parámetro limita el consumo de energía primaria no renovable del edificio.

Para su cálculo, se utiliza la *Tabla 3.1.a - HE0*, teniendo en cuenta la zona climática de invierno de Sevilla, “B”, y que se trata de un edificio existente, en el que se realizan reformas.

$$C_{ep,nren,lim} = 55.00 \frac{kWh}{m^2 \cdot año}$$

La reglamentación aplicable del *DB - HE1, Condiciones para el control de la demanda energética* [2], es la siguiente:

- K_{lim} : Este parámetro limita la demanda de calefacción, en concreto, las pérdidas por transmisión, y depende del clima y la compacidad del edificio.

Para su cálculo, se utiliza la *Tabla 3.1.1.b - HE1*, teniendo en cuenta la compacidad del edificio, $2.36 \text{ m}^3/\text{m}^2$, y la zona climática de invierno de Sevilla, “B”. Además, se trata de un edificio existente, en el que se renueva más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica.

$$K_{lim} = 0.83 + (2.36 - 1) \cdot \frac{0.90 - 0.83}{4 - 1} = 0.86 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

- $n_{50,lim}$: Este parámetro limita la demanda de calefacción, en concreto, las pérdidas por ventilación e infiltración, y depende de la compacidad del edificio.

Para su cálculo, se utiliza la *Tabla 3.1.3.b - HE1*.

$$n_{50,lim} = 6 + (2.36 - 2) \cdot \frac{3 - 6}{4 - 2} = 5.46 \frac{1}{h}$$

Nota: se aplica esta exigencia, aunque no se trate de un edificio nuevo.

- $q_{sol;julio,lim}$: Este parámetro limita la demanda de refrigeración, en concreto, las ganancias solares, y depende del uso del edificio (residencial privado).

Para su cálculo, se utiliza la *Tabla 3.1.2 - HE1*.

$$q_{sol;julio,lim} = 2.00 \frac{kWh}{\text{m}^2 \cdot \text{mes}}$$

La reglamentación aplicable del *DB – HE4, Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria* [3], es la siguiente:

- La contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables... *podrá reducirse al 60% cuando la demanda de ACS sea inferior a 5000 L/día.* [Se tiene $0,48 \text{ m}^3/\text{día} = 480 \text{ L/día} < 5000 \text{ L/día}$]

2.2. Software empleado

A continuación se describen los dos softwares informáticos que se han empleado tanto en el trabajo de base del que se parte como en la elaboración de los cálculos de este Trabajo de Fin de Máster.

2.2.1. DSGCode

Se ha utilizado como software de simulación del edificio de manera simplificada uno denominado ‘DSGCODE’, el cual es la abreviación de *Definición Simplificada, Geométrica, Constructiva y Operacional De Edificios*. Este software ha sido desarrollado por el *Grupo Termotecnica* de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, en colaboración con *AICIA (Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía)*.

Este programa de cálculo y simulación del edificio, posee una interfaz muy parecida al programa *HULC*, del CTE2019:

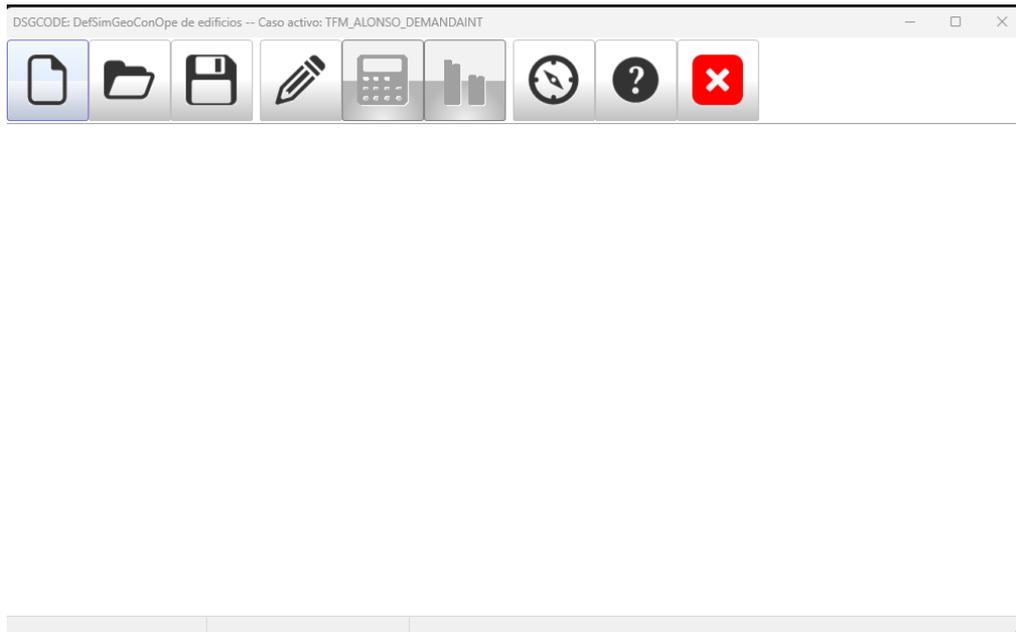


Figura 2-5. Interfaz principal del programa DSGCODE

Dentro del programa, tras crear un nuevo proyecto, seleccionando el icono del *Lápiz* se pueden añadir los diferentes parámetros característicos según la orientación, así como horarios de funcionamiento y ocupación del edificio

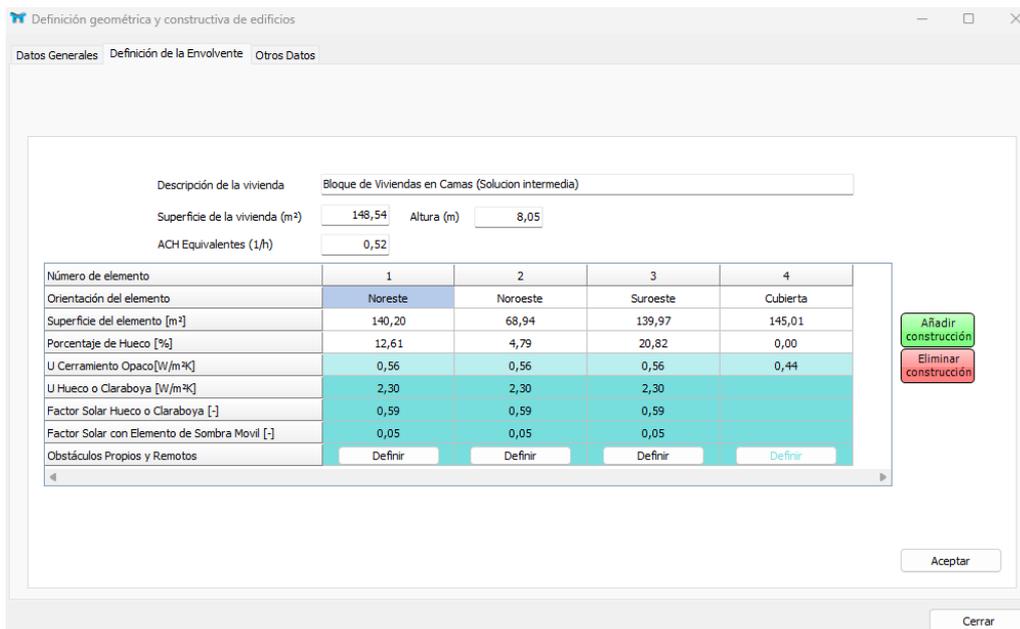


Figura 2-6. Definición geométrica y constructiva del edificio en *DSGCode*.

Una vez introducidos los datos anteriores, dándole al icono de la *Calculadora* se realizaría el cálculo, obteniéndose resultados de demanda anuales y mensuales representados en gráficas, así como resultados por conceptos (demanda según el tipo de elemento estructural: paredes, cubiertas, puentes térmicos, etc.) y resultados por componentes (demanda según cada orientación definida en la entrada de datos, diferenciándose muro y huevo).

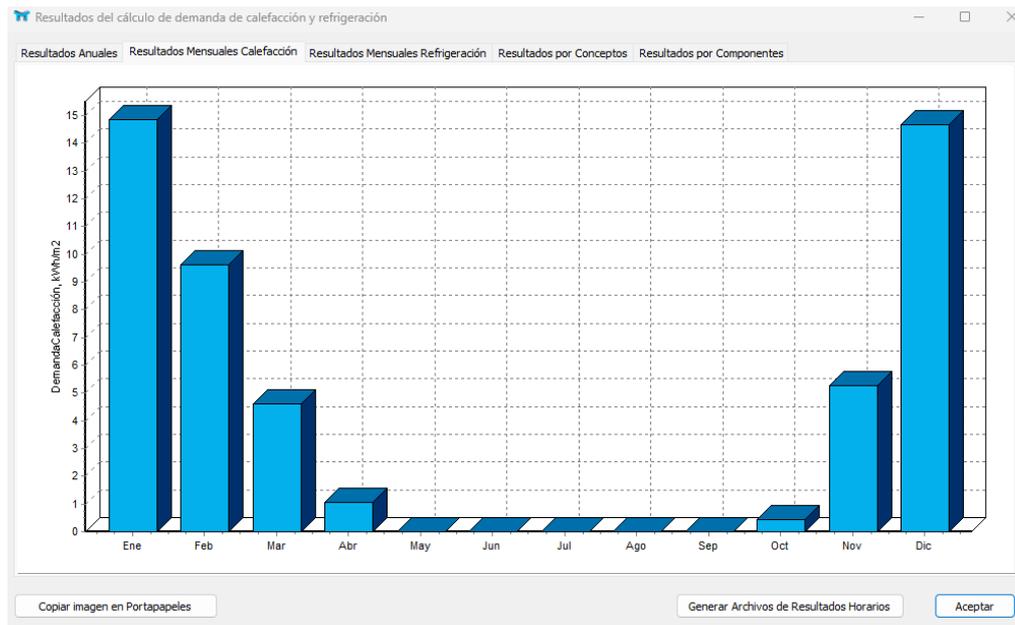


Figura 2-7. Interfaz de ejemplo de muestra de resultados por el programa *DSGCode*

Además el programa te da la posibilidad de generar archivos de resultados horarios obtenidos, pudiéndose tener así unos valores más específicos y útiles para trabajos como el actual (en base horaria).

2.2.2. Hojas de cálculo

Por otro lado, se ha hecho uso del software *Microsoft Excel* como programa de hoja de cálculo, donde se ha realizado la gran mayoría de cálculos y simulaciones de este trabajo.

Este programa, ampliamente conocido, tiene la ventaja de poder ser empleado para cualquier tipo de cálculo o simulación, siempre y cuando se use adecuadamente y se tenga en cuenta los detalles a la hora de introducir las formulas en las diferentes Casillas.

Tal y como se ha mencionado, en el trabajo de base de este TFM se llevaron a cabo simulaciones de multitud de combinaciones según los parámetros constructivos, que permitieron evaluar las distintas soluciones en términos de energía primaria y coste del ciclo de vida, para finalmente elegir una solución óptima. Dichas simulaciones se hicieron con Hojas de cálculo de Excel previamente programadas para ello.

Para el cálculo de las simulaciones que se verán más adelante de los depósitos de acumulación se ha empleado también este software, utilizando parámetros en base diezminutales u horarios para diferentes días del año, elaborando gráficas, análisis, etc.

Estas simulaciones del comportamiento de los depósitos podrán encontrarse en un enlace a una carpeta de Google Drive que se encuentra en los anexos, ya que dada la multitud de datos de las que dispone cada hoja es complicado incluirlos de forma visible en este documento.

2.3. Comportamiento del edificio en el Caso Inicial del Trabajo de Base

2.3.1. Parámetros característicos

Como parámetros característicos a nivel de componentes del edificio en la situación inicial se tienen los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2-3. Parámetros característicos a nivel de componentes en la situación inicial

Parámetro	Valor
Transmitancia cerramientos opacos, $U_{op} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	1,44
Transmitancia cubierta, $U_{cub} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	0,47
Transmitancia cerramientos semitransparentes, $U_{sem} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	5,70
Factor solar cerramientos semitransparentes en invierno, $g_{inv} (-)$	0,59
Factor solar cerramientos semitransparentes en verano, $g_{ver} (-)$	0,59
Estanqueidad de ventanas, $Q_{100} \left(\frac{m^3}{h \cdot m^2} \right)$	Ventanas clase 1
Caudal de renovaciones/hora infiltrado equivalente, $ACH_{eq} (1/h)$	0,58
Caudal de renovaciones/hora infiltrado durante la noche, $ACH_{noche} (1/h)$	4

Además se emplean los siguientes factores de sombra, tanto para el caso inicial como para el resto de los casos estudiados más adelante, pues es un parámetro dependiente de los obstáculos ajenos al edificio (invariable) cuyo cálculo puede observarse en el ANEXO – A.

Tabla 2-4. Factores de sombra para cada orientación del edificio.

Orientación	$F_{s,inv}$	$F_{s,ver}$
Noreste	0.83	0.82
Noroeste	0.86	0.84
Suroeste	0.98	0.97
Cubierta	1.00	1.00

2.3.2. Temperatura de oscilación Libre

Una vez llevada a cabo la simulación en DSGCODE, sin utilización de los equipos se obtendría la temperatura denominada como *Temperatura de Oscilación Libre*, la cual sirve para comprobar de primera mano cómo se desenvuelve el edificio conforme al confort interior (temperatura), en base a dos bandas de temperatura, una superior (25°C), y otra inferior (20°C) denominadas *bandas de confort*, y así comparar de manera rápida mejoras en los parámetros característicos del edificio (viendo cómo varía la evolución de esta gráfica ante el cambio de estos parámetros).

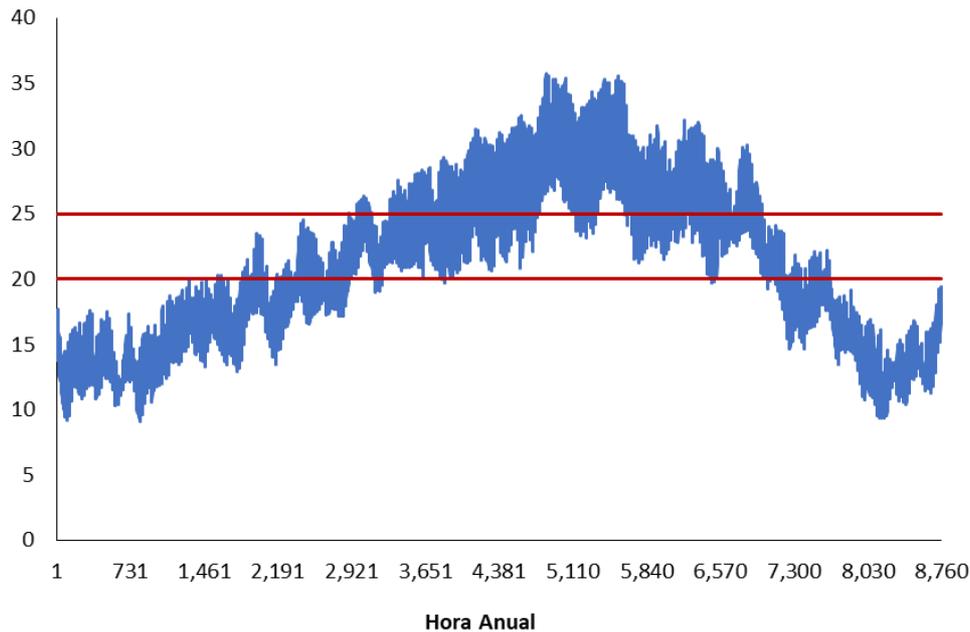


Figura 2-8. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso inicial de partida del trabajo de base.

2.3.3. Demanda de calefacción y refrigeración

Introduciendo los parámetros iniciales del edificio en *DSGCode*, se obtienen los siguientes valores de demanda de calefacción y refrigeración.

Tabla 2-5. Demanda mensual en kWh de Calefacción y Refrigeración para la situación inicial del edificio

DEMANDA MENSUAL		
MES	CALEFACCION [kWh]	REFRIGERACIÓN [kWh]
<i>Enero</i>	3963	0
<i>Febrero</i>	2794	0
<i>Marzo</i>	1762	0
<i>Abril</i>	755	0
<i>Mayo</i>	28	0
<i>Junio</i>	0	1472
<i>Julio</i>	0	3494
<i>Agosto</i>	0	3514
<i>Septiembre</i>	0	1901
<i>Octubre</i>	245	0
<i>Noviembre</i>	1872	0
<i>Diciembre</i>	3886	0
TOTAL	15304	10381

2.4. Elección de la solución constructiva a utilizar en el edificio (Caso intermedio)

2.4.1. Criterio de elección: Curvas Energía-CCV del trabajo de partida

A continuación, tal y como se comentó, en el trabajo de base, se llevó a cabo un análisis de múltiples

combinaciones de parámetros característicos, a fin de llevar a cabo una evaluación de estos en términos de energía primaria total y energía primaria no renovable (para lo planteado en dicho trabajo) junto con el coste del ciclo de vida (CCV), con el objetivo determinar la solución óptima reglamentaria, la cual es aquella, que cumpliendo el HE1 y HE0, tiene un menor CCV.

Se representa a continuación todas estas combinaciones llevadas a cabo en el trabajo de partida y la elegida como óptima reglamentaria:

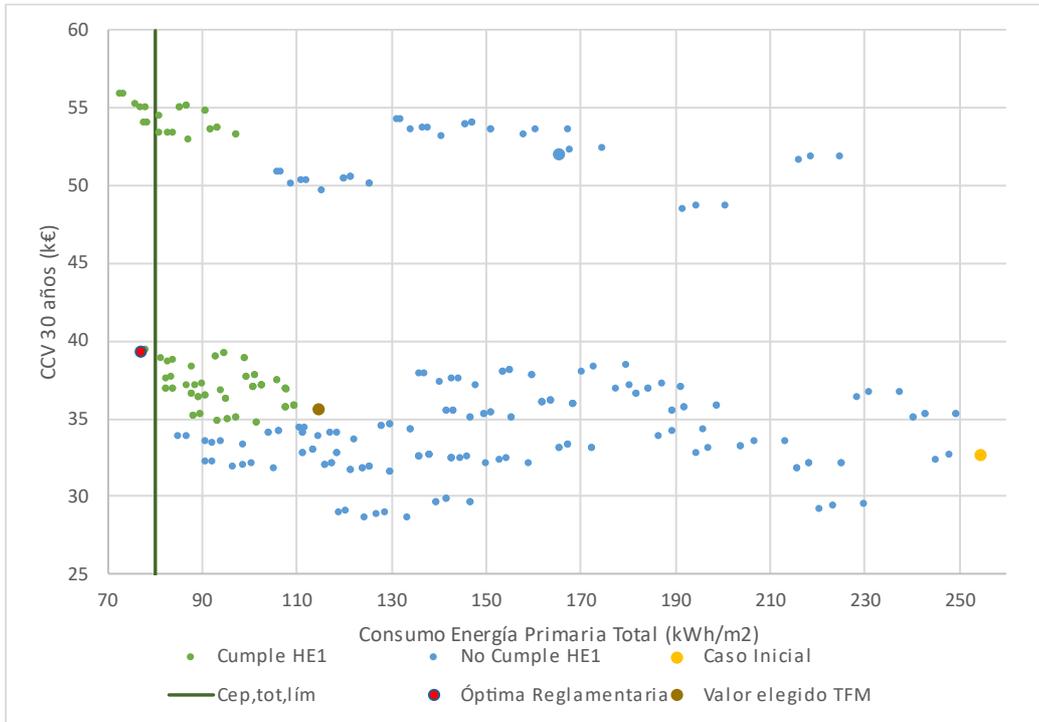


Figura 2-9. Energía primaria total frente a CCV trabajo de partida. Elección solución intermedia.

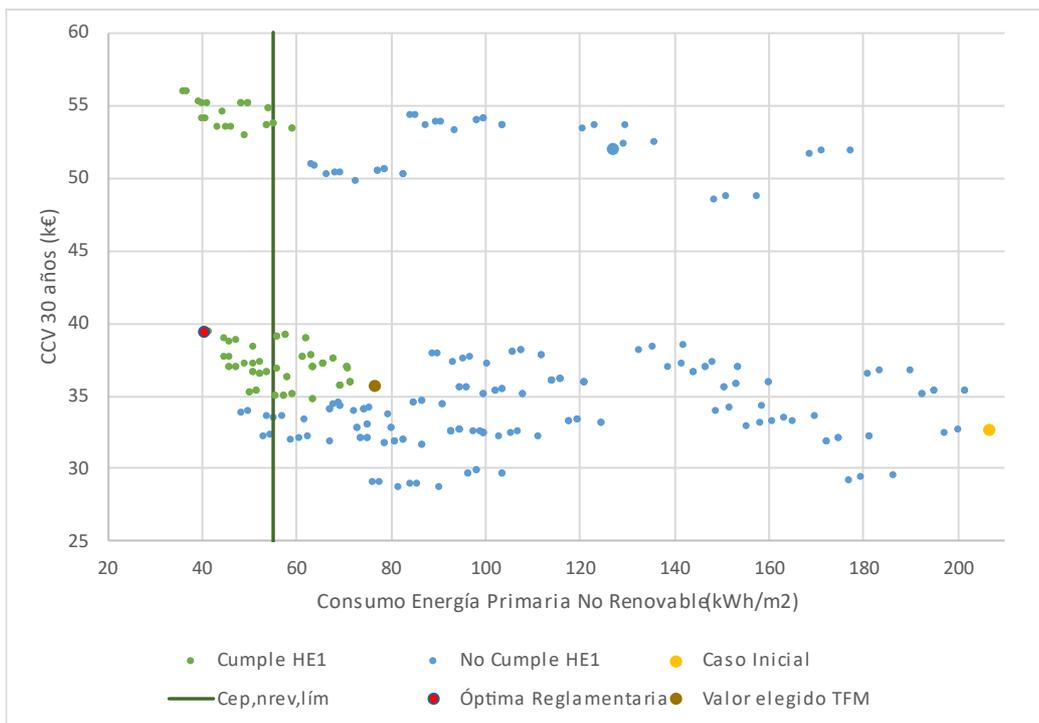


Figura 2-10. Energía primaria no renovable frente a CCV trabajo de partida. Elección solución intermedia

Como criterio de selección de la solución constructiva que se utilizará como base para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Máster se decidió elegir una solución intermedia entre la solución óptima reglamentaria y la solución constructiva inicial de partida del edificio.

Así se ha tomado como parámetros los correspondientes a la solución mostrada en las gráficas como “Valor elegido TFM”, tomando para su elección la condición de cumplimiento del HE1, ya que no será objeto de este objeto, tomando por tanto una solución constructiva que garantiza su cumplimiento y una solución que no cumpla las restricciones del HE0 en cuanto a las instalaciones y áreas de acondicionamiento consideradas en ese trabajo de partida, de esta manera obtendríamos una solución con parámetros constructivos que permiten margen de mejora y que no es todo lo óptima que pudiera ser.

2.4.2. Parámetros característicos

Tabla 2-6. Parámetros característicos a nivel de componentes en la solución intermedia escogida.

Parámetro	Valor
Transmitancia cerramientos opacos, $U_{op} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	0,56
Transmitancia cubierta, $U_{cub} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	0,44
Transmitancia cerramientos semitransparentes, $U_{sem} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	2,30
Factor solar cerramientos semitransparentes en invierno, $g_{inv} (-)$	0,59
Factor solar cerramientos semitransparentes en verano, $g_{ver} (-)$	0,05
Caudal de renovaciones/hora infiltrado equivalente, $ACH_{eq} (1/h)$	0,52
Caudal de renovaciones/hora infiltrado durante la noche, $ACH_{noche} (1/h)$	4

Como se trata de una solución intermedia, los parámetros característicos tienen valores intermedios entre el caso inicial (Tabla 2-3) y el caso óptimo reglamentario (que puede consultarse en los anexos)

2.4.3. Temperatura de oscilación Libre

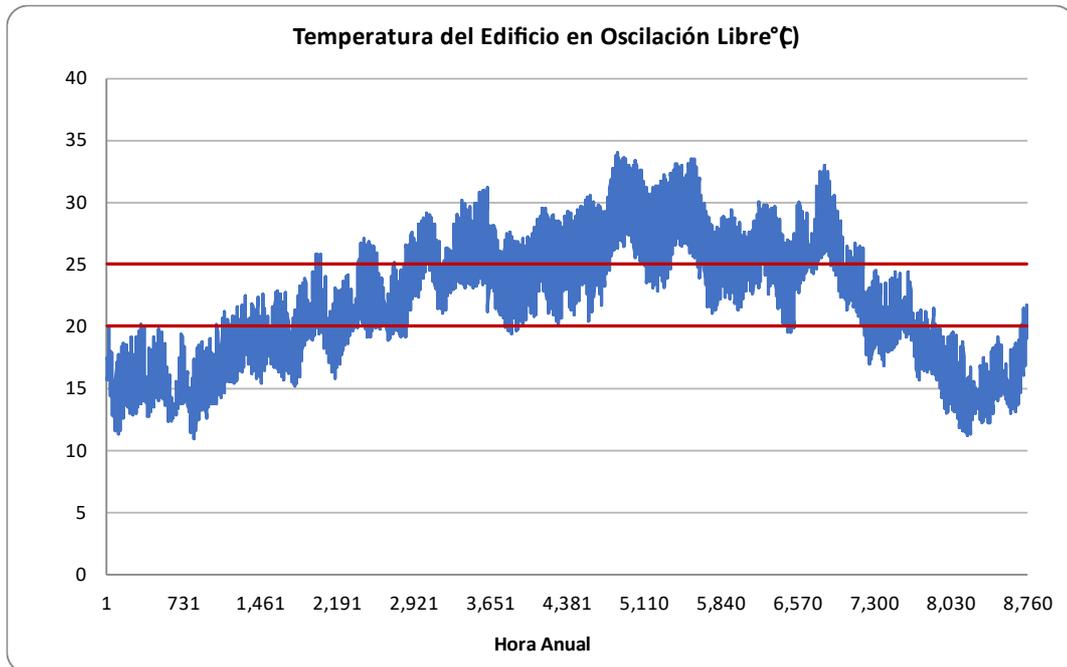


Figura 2-11. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso intermedio elegido para el edificio.

Como puede observarse en la, se tiene mejor comportamiento que la solución inicial (Figura 2-8) pero algo peor que la solución óptima reglamentaria (que se puede consultar en los anexos), lo cual es razonable al ser una solución constructiva con parámetros intermedios entre lo óptimo y lo inicial.

2.4.4. Energía demandada por el edificio

Una vez presentada la forma de obtención de este caso intermedio del cual se partirá para la realización de este trabajo, así como sus diferencias considerables entre el caso inicial del edificio y el óptimo reglamentario calculado en el trabajo de base de la asignatura de Edificios de Alta Eficiencia Energética, se lleva a cabo el cálculo de la demanda tanto del equipo Bomba de Calor (Demanda de Calefacción y Refrigeración) como la demanda del Agua Caliente Sanitaria (ACS) del bloque de edificio.

2.4.4.1. Demanda de calefacción y refrigeración

Para el cálculo de la demanda mensual de calefacción y refrigeración se utiliza el programa DSGCODE, introduciendo como datos de operación lo presentado en 2.1.3.1, así como los factores de sombra de la Tabla 2-4 y los parámetros característicos de la solución intermedia planteada, Tabla 2-6.

Una vez calculada la simulación se obtienen los siguientes valores de demanda energética mensual:

Tabla 2-7. Demanda mensual en kWh de Calefacción y Refrigeración para la situación elegida

DEMANDA MENSUAL		
MES	CALEFACCION [kWh]	REFRIGERACIÓN [kWh]
<i>Enero</i>	2207	0
<i>Febrero</i>	1431	0
<i>Marzo</i>	686	0
<i>Abril</i>	156	0
<i>Mayo</i>	0	0
<i>Junio</i>	0	847
<i>Julio</i>	0	2303
<i>Agosto</i>	0	2304
<i>Septiembre</i>	0	1066
<i>Octubre</i>	66	0
<i>Noviembre</i>	784	0
<i>Diciembre</i>	2180	0
TOTAL	7511	6520

Sin embargo, para el cálculo en el presente trabajo se usará la demanda horaria de calefacción y refrigeración **entre los meses de junio y septiembre**, la cual se ha obtenido tras simular en DSGCode la solución constructiva intermedia elegida.

2.4.4.2. Demanda de ACS

Para la obtención de la demanda de ACS se utiliza el mismo método que el presentado en los Anexos, siendo por tanto el resultado obtenido idéntico al presentado en la Tabla 2-2. Demanda de ACS Mensual.

No obstante, al igual que para la demanda de calefacción y refrigeración, la base de cálculo que se va a utilizar será en base horaria, **en el periodo correspondiente entre los meses de junio y septiembre (Verano)**.

Para la obtención de la demanda horaria de ACS en los meses de junio, julio, agosto y septiembre se ha tomado el perfil diario de ACS recuperado de [1]. Sin embargo, este perfil viene en porcentaje con respecto al máximo consumo, por lo que en primer lugar habría que pasarlo a porcentaje del consumo diario, dividiendo para ello entre el total. Se presenta a continuación dichos perfiles:

Tabla 2-8. Perfil diario de ACS (en porcentaje)

PERFIL DIARIO ACS		
Hora	% del maximo	% del diario
1	0,12	0,012
2	0,05	0,005
3	0,04	0,004
4	0,02	0,002
5	0,02	0,002
6	0,06	0,006
7	0,27	0,027

8	1	0,099
9	0,7	0,069
10	0,75	0,074
11	0,62	0,061
12	0,56	0,055
13	0,48	0,048
14	0,48	0,048
15	0,41	0,041
16	0,33	0,033
17	0,39	0,039
18	0,38	0,038
19	0,52	0,051
20	0,7	0,069
21	0,57	0,056
22	0,63	0,062
23	0,48	0,048
24	0,52	0,051
Total	10,1	1,000

Una vez se dispone del perfil de demanda de ACS diaria, y conociendo el valor de demanda de un día tipo de cada mes, se puede obtener la demanda horaria de ACS para un día tipo de cada mes, y posteriormente **se supone que los días de cada mes tienen el mismo perfil horario de demanda de ACS.**

La demanda de ACS para cada día tipo de un mes, en $kWh/día$, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$DEM_{ACS} (kWh/día) = \dot{m}_{ACS} \cdot C_{eW} \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

Donde:

- \dot{m}_{ACS} : masa de agua caliente demandada en cada día, en $m^3/día$, calculada en Anexos, de valor 0,48 $m^3/día$.
- C_{eW} : calor específico del agua, $1.16 kWh/(m^3 \cdot °C)$.
- T_{ACS} : temperatura media de servicio del agua caliente sanitaria. Se considera una temperatura de acumulación de $60 °C$.
- T_{AF} : temperatura diaria media mensual del agua fría de red. Se obtiene de la *Tabla a - Anejo G del DB - HE* (se utilizan los valores de la ciudad de Sevilla).

Tabla 2-9. Demanda diaria para cada mes de junio a septiembre

Mes	m_{ACS} [m3/día]	T_{AF} [°C]	Demanda diaria [kWh/día]
Junio	0,48	19	22,77
Julio	0,48	21	21,66
Agosto	0,48	21	21,66
Septiembre	0,48	20	22,22

Finalmente, se obtiene la siguiente demanda horaria para los días correspondientes a cada uno de los meses, la cual será la base de partida para la realización de los cálculos presentados posteriormente.

Tabla 2-10. Valores de demanda horaria para los días tipo de los meses de junio a septiembre

Hora	Días de JUNIO	Días de JULIO	Días de AGOSTO	Días de SEPTIEMBRE
1	0,271	0,257	0,257	0,264
2	0,113	0,107	0,107	0,110
3	0,090	0,086	0,086	0,088
4	0,045	0,043	0,043	0,044
5	0,045	0,043	0,043	0,044
6	0,135	0,129	0,129	0,132
7	0,609	0,579	0,579	0,594
8	2,255	2,145	2,145	2,200
9	1,578	1,501	1,501	1,540
10	1,691	1,608	1,608	1,650
11	1,398	1,330	1,330	1,364
12	1,263	1,201	1,201	1,232
13	1,082	1,029	1,029	1,056
14	1,082	1,029	1,029	1,056
15	0,924	0,879	0,879	0,902
16	0,744	0,708	0,708	0,726
17	0,879	0,836	0,836	0,858
18	0,857	0,815	0,815	0,836
19	1,172	1,115	1,115	1,144
20	1,578	1,501	1,501	1,540
21	1,285	1,222	1,222	1,254
22	1,420	1,351	1,351	1,386
23	1,082	1,029	1,029	1,056
24	1,172	1,115	1,115	1,144

3. SOLUCIONES A IMPLEMENTAR

A continuación, una vez presentado el edificio con sus parámetros característicos y demandas horarias previstas que son la base de partida de este trabajo, se van a presentar a continuación, en primer lugar la instalación convencional que se establece como partida del edificio actual elegido, seguida de las soluciones tecnológicas que se pretenden incorporar a esta instalación, a fin de mejorar la eficiencia en términos energéticos, e incorporando de estas soluciones aquella que sea óptima en términos de coste de ciclo de vida (que se detallará más adelante).

3.1. Instalación convencional de partida

En el apartado anterior se presentó la solución constructiva que se iba a elegir como base de partida para este trabajo de fin de máster, la cual está basada en un análisis previo de distintas soluciones del edificio llevado a cabo en el trabajo de partida. Estas soluciones constructivas elegidas se traducen en unas demandas energéticas concretas, que serán las que se emplearán en el cálculo.

A continuación se presenta la instalación convencional de la que va a partir el edificio con los parámetros constructivos elegidos, y la cual se pretende mejorar con soluciones tecnológicas innovadoras a implementar, evaluando la relación entre el coste frente a beneficio de incorporarlo.

Esta instalación de partida contará con un sistema convencional de generación de ACS mediante aerotermia con una bomba de calor (BdC), el cual será el principal contribuyente energético a la generación del agua caliente sanitaria, pues su vector energético medioambiente posee un componente de renovabilidad que nos permitirá cumplir con la restricción del HE4 del Código Técnico, cuyo cumplimiento se ha de garantizar para todas las soluciones que se estudien para la instalación, incluida la instalación convencional de partida.

Además del sistema de generación de ACS mediante BdC, se contará con un sistema auxiliar formado por calderas de gas natural convencionales, una por vivienda (un total por tanto de seis calderas) con un rendimiento del 92% (el cual es un valor típico para este tipo de calderas). El extra de calor que no sea capaz de aportar la bomba de calor, por tanto, será conseguido activando estas calderas, que calentarán el agua in situ, instantáneamente al paso por las tuberías. Se puede observar un esquema de principio de esta instalación planteada en la siguiente figura (además de en planos adjuntos, dónde podrá consultarse la leyenda).

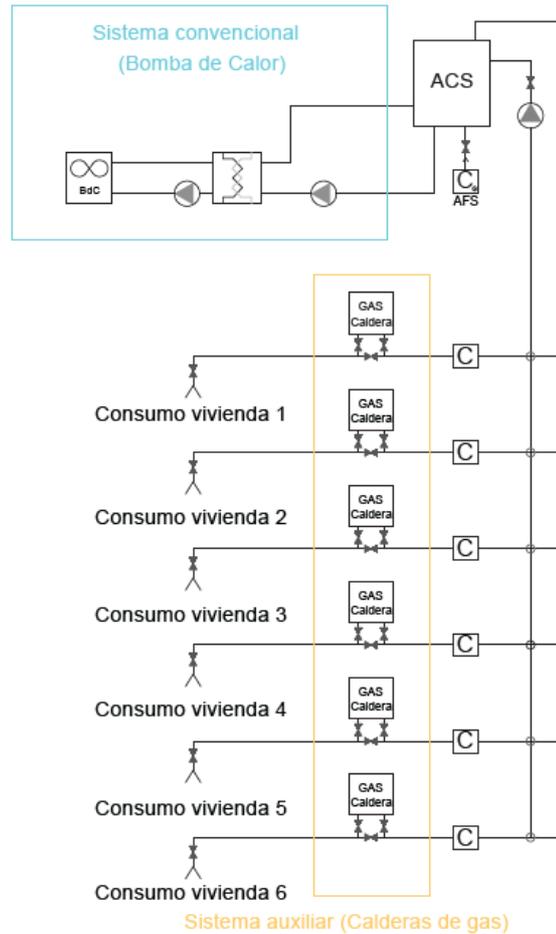


Figura 3-1. Esquema de principio de funcionamiento del ACS en la solución convencional planteada.
Elaboración propia.

Para esta instalación convencional de partida, la refrigeración se llevará a cabo también mediante la bomba de calor, y se tendrá un SEER idéntico al que se tenga para la calefacción y ACS (SCOP).

Dicho esto, para garantizar el mencionado cumplimiento del HE4, se ha elegido un SCOP tal que cumpla las exigencias de renovabilidad (para una demanda de ACS inferior de 5000 L/día, que es el caso de estudio, se exige un 60% de renovabilidad de la energía final).

Se obtiene que la bomba de calor ha de tener un $SCOP = SEER = 4,56$. Con este valor, el ACS queda cubierto en un 61,37 %, cumpliendo así el HE4. El cálculo de estos valores se encuentra en los anexos de cálculo.

Así mismo, puede comprobarse en ese anexo que los valores de Energía primaria no renovable (E_{pnr}) y Energía primaria total (E_{ptot}) cumplen con los límites marcados en el HE0, por lo que esta solución convencional de partida cumpliría el reglamento aplicable y sería por tanto una opción válida a considerar como solución a la hora de comparar las distintas soluciones que se plantearán.

3.2. Instalación propuesta: Sistema natural de pre-enfriamiento del agua del equipo autónomo (bomba de calor)

Para combatir la carga energética que requiere el edificio en términos de calefacción y refrigeración, se hace uso de un equipo autónomo o bomba de calor, que pueda trabajar en modo calefacción y en modo refrigeración. No obstante, se ha intentado buscar una solución innovadora que permita reducir la carga que deba dar estos equipos durante el verano, es decir, cuando el equipo autónomo trabaja en modo refrigeración.

Dicho esto, la primera solución innovativa y útil para nuestro edificio sería la de incorporar la tecnología del enfriamiento convectivo- evaporativo- radiante del agua del depósito que alimenta las baterías de frío del equipo autónomo a través del aprovechamiento de las temperaturas de cielo y de bulbo húmedo del aire que existe por las noches, las cuales están muy por debajo de la temperatura de reposición de este agua, por tanto se puede hacer un aprovechamiento de esta peculiaridad para disminuir el salto térmico que ha de hacer el equipo, disminuyendo por tanto la energía empleada en ese enfriamiento del agua hasta la temperatura de impulsión.

Para llevar esto a cabo se propone el modelo de *falling-film*, el cual consiste verter cierta cantidad de agua rociada mediante diversos canales a través de láminas con una pequeña inclinación tal que se pueda conseguir el efecto de disipación del calor de manera natural. Estas láminas se proponen que sean paneles fotovoltaicos, de esta manera, ayudará a la generación de energía renovable al edificio durante el día, y serán aprovechables también durante la noche con este intercambio.

A continuación se muestra un esquema del principio de funcionamiento de la parte de la instalación correspondiente al *falling film*.

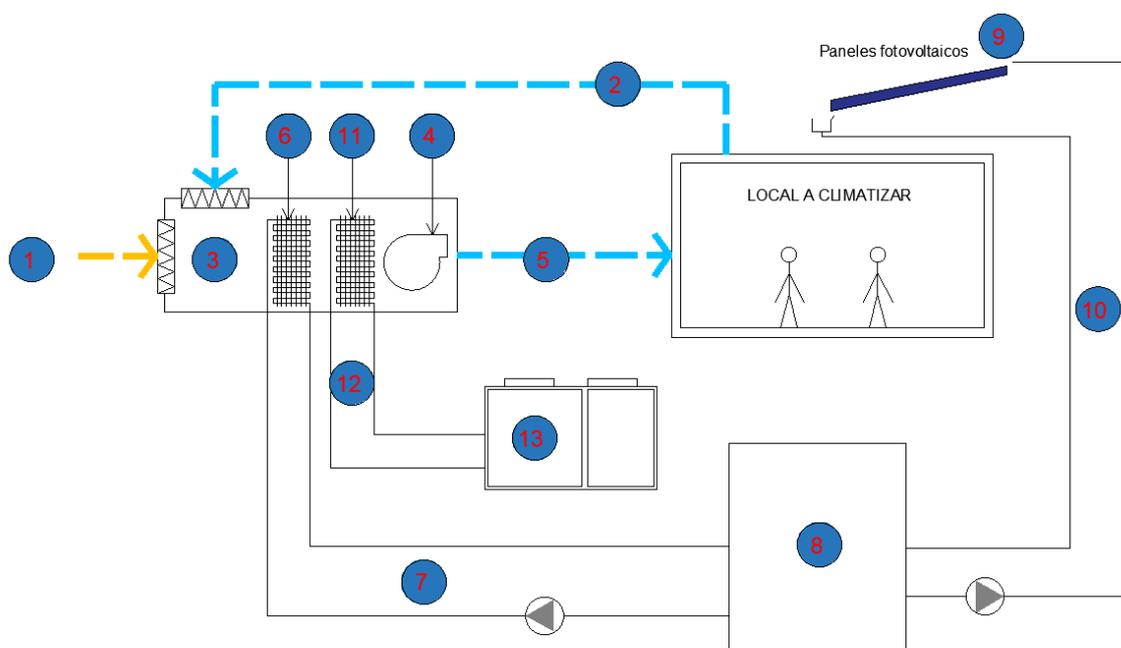


Figura 3-2. Esquema de principio de funcionamiento del sistema de pre-enfriamiento del agua por *falling-film*.
Elaboración propia.

En dicho esquema, se tienen los siguientes elementos:

- Elemento 1: Entrada del aire exterior.
- Elemento 2: Red primaria de retorno del aire del local.
- Elemento 3: Caja de mezcla de la UTA.
- Elemento 4: Ventilador de impulsión del aire de impulsión al local.
- Elemento 5: Red primaria de aire de impulsión al local.
- Elemento 6: Batería de frío de la UTA.
- Elemento 7: Red secundaria de impulsión de agua fría (modo refrigeración).
- Elemento 8: Depósito de acumulación de agua fría.
- Elemento 9: Panel fotovoltaico para disipación natural del calor del agua.

- Elemento 10: Red de tuberías del *falling-film*.
- Elemento 11: Batería caliente de la UTA.
- Elemento 12: Red secundaria de impulsión de agua caliente (modo calefacción).
- Elemento 13. Generador de agua caliente para modo calefacción

A modo de simplificación de los cálculos se supone que no hay pérdidas en el tramo de conducto que va del depósito de agua fría a los paneles fotovoltaicos y viceversa.

3.2.1. Modelado del calor disipado por la noche mediante *falling film*.

El modelo de cálculo del calor disipado por la noche mediante este sistema estará basado en lo descrito en el artículo de revista [2].

En este modelo, se parte de la siguiente ecuación de variación de la energía del agua en el sistema de *falling film* que se obtiene fruto de hacer un balance energético en el depósito de acumulación:

$$-m_w \cdot C_{p_w} \cdot \frac{dT_w}{dx} = Q_{cv} + Q_{rad} + Q_{evaporativo} \quad (1)$$

Donde:

- m_w : masa de agua que forma parte del depósito de acumulación de agua. Dividiendo entre la densidad se tiene el volumen del depósito, que será una de las variables de diseño.
- C_{p_w} : Calor específico del agua.
- T_w : Temperatura del agua.
- Q_{cv} : Calor convectivo disipado por la noche.
- Q_{rad} : Calor radiante en forma de pérdida nocturna.
- $Q_{evaporativo}$: Calor de pérdida evaporativa existente durante la noche.

A través de una serie de simplificaciones, se puede agrupar todos los calores que aparecen en este fenómeno (convectivo, radiante y evaporativo) en un solo calor que los recoge, permitiendo así lograr calcular este de una manera más sencilla, al depender este calor de términos fácilmente calculables:

- Por un lado, el calor convectivo y el calor evaporativo se puede calcular mediante en una sola expresión, utilizando para ello un coeficiente de película convectivo-evaporativo ($h_{cv-evaporativo}$).
- Por otro lado, la ecuación del calor radiante (cuadrática) se puede simplificar a una ecuación lineal mediante el uso de un coeficiente de película radiante (h_{rad}), esta simplificación es posible gracias a que la diferencia entre la temperatura del agua y del cielo es menor de 100 K [2].

De esta manera, se obtendría la siguiente expresión:

$$Q = Q_{cv-evaporativo} + Q_{rad} = h_{cv-evaporativo} \cdot A \cdot (T_w - T_{wb}) + h_{rad} \cdot A \cdot (T_w - T_{cielo}) \quad (2)$$

Donde:

- $h_{rad} = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{T_w + T_{cielo}}{2}\right)^3$
- T_{wb} : temperatura de bulbo húmedo.
- T_{cielo} : temperatura del cielo.
- A : Área de transferencia, la cual se corresponde al área por donde circula el agua, que es el producto del número de paneles fotovoltaicos por el área de cada panel (el cual se considera de 2,1 m²).

Haciendo transformaciones algebraicas, se puede reescribir la ecuación (2) como:

$$Q = (h_{cv- evaporativo} + h_{rad}) \cdot A \cdot \left(T_w - \frac{h_{cv- evaporativo} \cdot T_{wb} + h_{rad} \cdot T_{cielo}}{h_{cv- evaporativo} + h_{rad}} \right) \quad (3)$$

Se pueden identificar además los siguientes términos:

- $U = h_{cv- evaporativo} + h_{rad}$: Coeficiente global de transferencia de calor.
- $T_{\infty} = \frac{h_{cv- evaporativo} \cdot T_{wb} + h_{rad} \cdot T_{cielo}}{h_{cv- evaporativo} + h_{rad}}$: Temperatura de mezcla del *falling film*.

$$\text{Quedando por tanto la ecuación final: } Q = U \cdot A \cdot (T_w - T_{\infty}) \quad (4)$$

Para el cálculo del calor disipado, Q, por tanto se ha de conocer los siguientes parámetros:

- Temperaturas T_{wb} y T_{cielo} : son datos, proporcionados en el correspondiente archivo climático ‘.met’ del lugar, que para el caso de estudio se toma *Sevilla*.
- El área de disipación: dependerá del número de paneles fotovoltaicos, el cual es una variable de diseño.
- Coeficiente de intercambio radiante, h_{rad} , el cual se puede suponer como un valor de $5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ [2].
- Coeficiente de intercambio convectivo- evaporativo, $h_{cv- evaporativo}$. Según lo recogido en el estudio planteado en [2], puede tomar los siguientes valores:
 - Zona de dominancia evaporativa: se da cuando $T_w - T_{wb} > 5^{\circ}C$, se toma un valor de $33,11 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
 - Zona de dominancia radiante: se da cuando $T_w - T_{wb} \leq 5^{\circ}C$, se toma un valor de $3,44 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

3.3. Instalación propuesta: paneles fotovoltaicos como generación de energía eléctrica

Como se ha comentado en el subapartado anterior, para el proceso del *falling-film* se van a emplear en lugar de láminas simples, paneles fotovoltaicos, que de igual manera pueden actuar como láminas para dicho proceso durante la noche y nos permite sobre todo aprovechar el potencial de la generación fotovoltaica durante el día.

Dicho esto, para incorporar la energía fotovoltaica a nuestros cálculos, habrá para ello que calcularla en primer lugar. Por ello, en este apartado se va a presentar el modelo simplificado que se utilizará para obtener la potencia eléctrica obtenida por estos paneles a lo largo de los días.

Esta energía generada con la instalación fotovoltaica se utilizará posteriormente para aumentar la temperatura del depósito interacumulador del ACS. No se utilizará esta energía en ningún otro lugar del edificio, por tanto siempre que haya excedente de energía será vendida a la red eléctrica.

3.3.1. Modelado de un módulo fotovoltaico

3.3.1.1. Base matemática

Existen muchos modelos para representar el funcionamiento de un modulo fotovoltaico, dependiendo del nivel de análisis deseado. En el caso en concreto de este trabajo, un modelo simplificado será más que suficiente para el cálculo, ya que la base del estudio se centra en hacer un análisis de sensibilidad de los componentes que englobarán a toda la nueva instalación que se desea incorporar en el edificio, no siendo un trabajo basado en el diseño específico de una instalación de generación eléctrica fotovoltaica, donde sí se debería buscar un nivel de detalle mucho mayor.

En general, se suele representar el comportamiento de los paneles fotovoltaicos con analogía eléctrica. Dicho

esto, entre los modelos más utilizados se encuentran los siguientes:

- Modelo ideal con un único diodo
- Modelo R_s con un único diodo
- Modelo R_p con un único diodo

Para cada uno de estos modelos se ha de calcular previamente una serie de parámetros.

En el caso de estudio, se va a seguir el modelo R_p con un único diodo, al que se le harán algunas simplificaciones.

Este circuito equivalente consiste en un diodo, una fuente de corriente, una resistencia en serie (R_s) y una resistencia en paralelo (R_p). Como analogía eléctrica por tanto, la corriente de este circuito representa a la corriente de la célula solar, R_s representa la resistencia del material y R_p las pérdidas en forma de fuga por el material [3]. Se puede observar este modelo en la Figura 3-3.

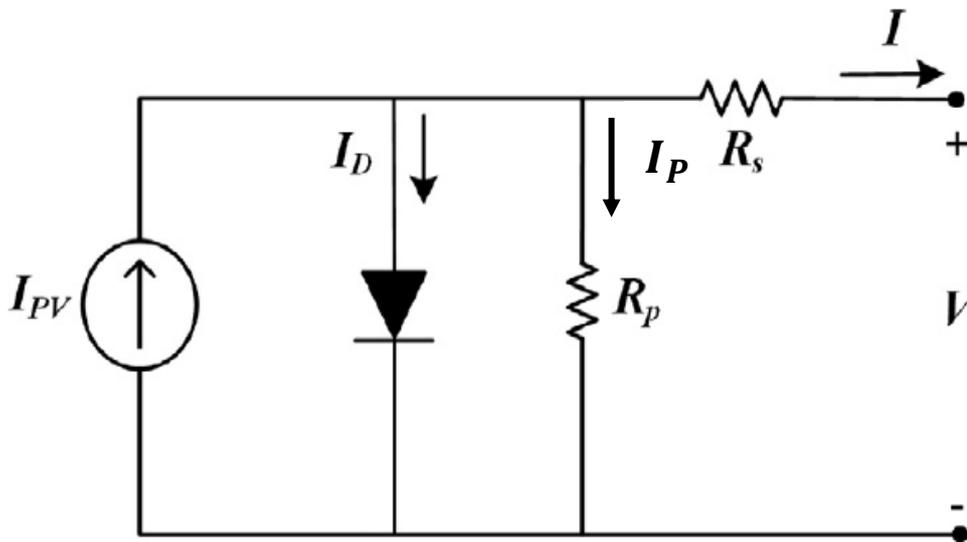


Figura 3-3. Circuito equivalente de la célula solar. Recuperado de [4]

Se asume la siguiente simplificación: la corriente I_p es despreciable, lo que significa que R_p posee un valor mucho más grande en comparación con R_s . [3]

Para el cálculo de la corriente de la célula fotovoltaica, I , se parte de la Primera Ley de Kirchoff:

$$I = I_{PV} - I_D - I_P \quad (5)$$

En donde [3]:

- I_{PV} representa a la corriente que es generada por la luz en la célula fotovoltaica.
- I_D representa a la corriente dependiente del voltaje que se pierde por recombinación.
- I_P representa a la corriente perdida debido a las resistencias en paralelo.

Para el modelo utilizado, la corriente para un diodo ideal, I_D es modelada de la siguiente manera:

$$I_D = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_s}{n \cdot V_T}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

Donde se tiene que:

- n : Factor de idealidad del diodo, normalmente con un valor de entre 1 y 2.
- I_0 : Corriente de saturación.
- V_T : Voltaje térmico, dado por la siguiente expresión: $V_T = \frac{K \cdot T_C}{q}$ (7)

- K : Constante de Boltzmann, con un valor de $1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K.
- q : Carga elemental, con un valor de $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Sabiendo que $I_p = \frac{V+I \cdot R_S}{R_p}$ (8), junto con la ecuación (5) y (6), se tiene:

$$I = I_{pV} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_S}{n \cdot V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_S}{R_p} \quad (9)$$

Esta ecuación (9) forma la relación I-V característica de los paneles fotovoltaicos. Debido a que se trata de una ecuación no lineal, donde la relación entre I y V es no explícita, se necesitaría un método numérico para resolverla. [3]

La curva I-V es fundamental, pues describe el funcionamiento de cualquier panel fotovoltaico. Se puede ver representada en la Figura 3-4.

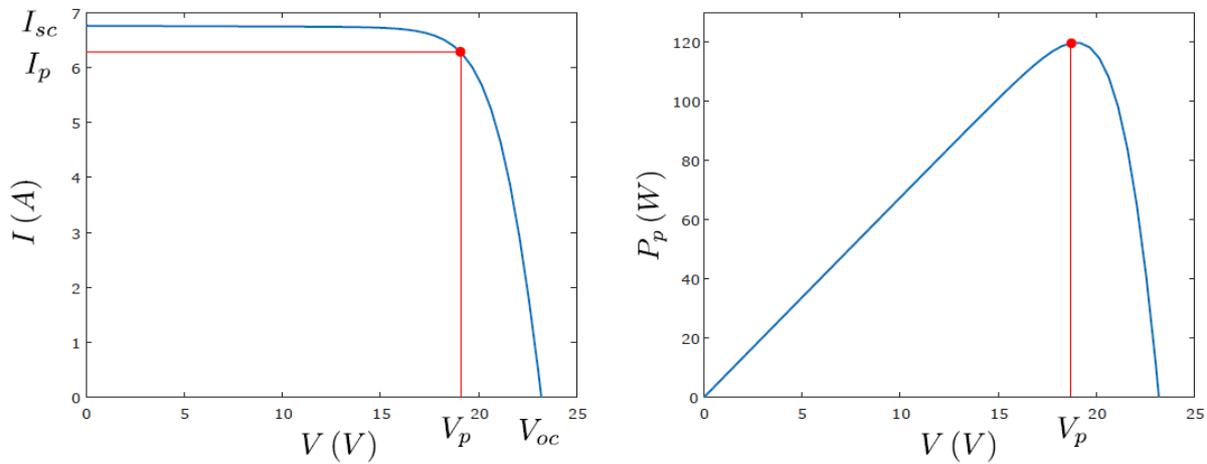


Figura 3-4. Curva I-V (a) y Curva P-V (b) de un módulo fotovoltaico. Recuperado de [4]

Esta curva característica se puede determinar con la posición de tres puntos:

- Punto de máxima potencia (Pmpp): Se corresponde al punto donde se genera la máxima potencia de salida. Es el punto en donde el producto $I \cdot V$ es máximo. Determina la potencia pico del panel.
- Intensidad o corriente de corto circuito (I_{sc}): es el valor de intensidad para la cual se tiene un voltaje nulo
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): es el valor de voltaje para el cual se tiene una corriente nula, de ahí a que se denomine de circuito abierto (sin corriente).

3.3.1.2. Modelo propuesto

El modelo propuesto para el cálculo del comportamiento del módulo fotovoltaico, es decir, de la curva I-V se divide en dos secciones, debido a que el módulo se comporta de manera diferente una vez alcanza el punto de máxima potencia (Pmpp), ya que el diodo se satura. De esta manera, se puede determinar el Pmpp para cualquier condición de operación del módulo.

En cuanto a las condiciones de operación del módulo, existen las que se conocen como *Condiciones Estándar de Operación (STC)*, las cuales son unas condiciones de referencia mediante las cuales se ensayan los módulos fotovoltaicos en base a la norma IEC 60904 Standard, y se utiliza para poder comparar adecuadamente distintos módulos entre sí. Estas condiciones son [3]:

- Irradiancia total (E) = 1000 W/m^2 .

- Temperatura del módulo = 25 °C, con una tolerancia de ±2°.
- Irradiancia espectral de referencia para masa de aire (AM) = 1,5, según se define en IEC 60904 standard.

Así, se modela de la siguiente manera:

- Sección 1: Desde I_{sc} hasta V_{mpp}

$$I^* = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V^*} + c_1 \cdot e^{d_1 \cdot V^*} \quad (10)$$

- Sección 2: Desde V_{mpp} hasta V_{oc}

$$I^* = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot V^*} + c_2 \cdot e^{d_2 \cdot V^*} \quad (11)$$

Donde se ha estandarizado I y V de la siguiente manera:

$$I^* = \frac{I}{I_{sc}} \quad (12)$$

$$V^* = \frac{V}{V_{oc}} \quad (13)$$

La intersección de las curvas (10) y (11) dan lugar al punto de máxima potencia. Los coeficientes de estas curvas ($a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$) se han tomado según el mejor ajuste logrado a la curva I-V de un módulo fotovoltaico. Se han tomado para el cálculo los obtenidos en [3]:

Tabla 3-1. Coeficientes de ajustes de las curvas del modelo

Sección 1		Sección 2	
$a1$	-4,743E-12	$a2$	-2,095E-14
$b1$	27,64	$b2$	31,34
$c1$	1	$c2$	1,856
$d1$	-0,03267	$d2$	-0,8223

A continuación se presenta las distintas correcciones que ha de hacerse a los distintos parámetros de la curva I-V para obtener dichos parámetros operando en bajo cualesquieras condiciones diferentes de las estándares STC.

3.3.1.2.1. Corrección por irradiancia

Dado que en el catálogo de los módulos fotovoltaicos se dan los parámetros característicos eléctricos medidos en base a las condiciones estándares de medición (STC), una primera operación a realizar será la de corregir este parámetro por irradiancia, es decir, ajustar el parámetro al valor de irradiancia recibida (E_c), que será probablemente diferente a la irradiancia tenida en cuenta en las condiciones estándar (1000 W/m^2):

$$I_{sc}(T = 25^\circ\text{C}, E = E_c) = \frac{E_c}{1000} \cdot I_{sc}\left(T = 25^\circ\text{C}, E = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \quad (14)$$

$$V_{oc}(T = 25^\circ\text{C}, E = E_c) = V_{oc}\left(T = 25^\circ\text{C}, E = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) + V_T \cdot \ln\left(\frac{E}{1000}\right) \quad (15)$$

En donde V_T , que se trata del voltaje térmico, se estima en un valor constante de 1,7 (ya que el rango de variación suele estar entre 1,67 y 1,72). [3]

3.3.1.2.2. Corrección por temperatura

En segundo lugar, una vez realizada la corrección por irradiancia, se lleva a cabo la corrección por temperatura, de manera que se pueda tener los valores característicos eléctricos del módulo en cualquier condición de temperatura (T_c , diferente de 25°C) y de irradiancia:

$$I_{sc}(T = T_c, E = E_c) = I_{sc}(T = 25^\circ\text{C}, E = E_c) \cdot (1 + \alpha \cdot (T_c - 25^\circ\text{C})) \quad (16)$$

$$V_{OC}(T = T_C, E = E_C) = V_{OC}(T = 25^\circ C, E = E_C) + \beta \cdot (T_C - 25^\circ C) \quad (17)$$

Donde

- T_C : Temperatura del módulo [°C]. Se calcula como: $T_C = T_a + \frac{NOCT-20}{800} \cdot E_C$ (18)
- T_a : Temperatura ambiente seca [°C]
- $NOCT$: Temperatura nominal de operación [°C], dada por el fabricante del módulo fotovoltaico.
- α y β son obtenidos del catálogo de cada panel fotovoltaico, y representan la variación con la temperatura T_C de I_{sc} y de V_{oc} , respectivamente.

El panel fotovoltaico tiene una pequeña inclinación para el falling film, no obstante en términos del cálculo de energía fotovoltaica generada se considerará despreciable esta inclinación (tomando como orientación horizontal el propio panel fotovoltaico).

3.3. Instalación propuesta: Sistema de ACS

A continuación se presenta la instalación propuesta como solución alternativa a la convencional para la parte correspondiente a cubrir la demanda del ACS.

El sistema a establecer consta de un depósito de almacenamiento de agua calentado mediante la energía generada por los paneles fotovoltaicos que se usan en la disipación nocturna (*falling-film*). Esta instalación cuenta con un sistema de apoyo basado en calderas de gas natural independientes, que calentarán el agua instantáneamente antes del consumo una vez que la temperatura de salida del agua del depósito sea inferior a la temperatura de consumo establecida, 60°C.

Esta instalación puede apreciarse en el siguiente esquema, además de en planos adjuntos (donde se puede encontrar la correspondiente leyenda).

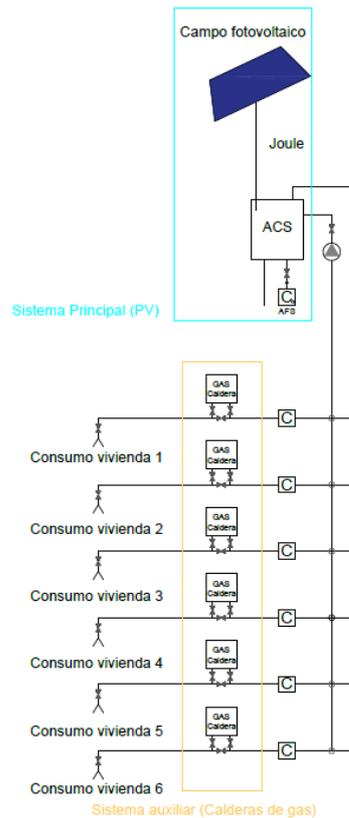


Figura 3-5. Esquema de principio de funcionamiento del ACS en la instalación propuesta. Elaboración propia

El objetivo de esta instalación es contar con un volumen de acumulación que permita mantener más o menos estable la temperatura del mismo, que se irá calentando durante el día con la aportación de la energía fotovoltaica, y lograr así que las calderas tengan que intervenir la menor cantidad de tiempo posible, tan solo para dar un pequeño salto térmico hasta lograr los 60°C de suministro del ACS.

Se tomará la hipótesis de que no existirán pérdidas en el depósito ni en la red de tuberías

3.3.1. Aplicación de la potencia fotovoltaica generada

Una vez generada corriente eléctrica a través de la energía fotovoltaica, esta se va a emplear en el calentamiento del agua del depósito de acumulación de ACS, a través del denominado como *Efecto Joule*.

No se utilizará esta energía en ningún otro lugar del edificio, por tanto siempre que haya excedente de energía será vendida a la red eléctrica.

3.3.1.1. Efecto Joule para calentamiento del ACS

Se conoce como efecto Joule al proceso por el cual un material conductor es calentado debido al paso de corriente eléctrica a través de él. El principio de funcionamiento de este efecto está gobernado por la ecuación desarrollada por James Prescott Joule:

$$Q = V \cdot I \quad (19)$$

Esta ecuación define el calor generado en función del voltaje al cual el material está siendo sometido y la intensidad que lo atraviesa.

Es formalmente más conocida expresada de la siguiente manera (haciendo uso de la *Ley de Ohm*): $Q = I^2 \cdot R$ (20)

Donde R es la Resistencia eléctrica del material e I la intensidad que circula por el mismo.

Siguiendo este principio físico es como el agua del depósito interacumulador que se colocará será calentada, a

través de un serpentín que lleva incorporado el cual recibirá la energía fotovoltaica de los paneles colocados.

3.3.1.2. Depósito de acumulación del ACS

Se presenta a continuación las ecuaciones y balances que modelan el depósito interacumulador del ACS, el cual será calentado gracias a un serpentín, mediante la energía fotovoltaica generada, siguiendo el mencionado Efecto Joule.

Haciendo un balance energético en el depósito interacumulador, se tendría:

$$-m_w \cdot C p_w \cdot \frac{dT_w}{dx} = Q \quad (21)$$

Donde:

- m_w es la misma variable que en el modelo del *falling-film*.
- $C p_w$ es la misma variable que en el modelo del *falling-film*.
- T_w es la misma variable que en el modelo del *falling-film*.
- Q_{cv} : Calor global que afecta al depósito, el cual se define como:

$$Q = Q_{PV} - \dot{m}_w \cdot C_p \cdot (T(t) - T_{rep}) \quad (22)$$

Donde:

- \dot{m}_w : Caudal de agua de ACS que se demanda, establecido como un valor de 0,48 m³/día
- $T(t)$: Temperatura del depósito en el instante actual
- T_{rep} : Temperatura de reposición del agua de red, variable cada mes.

Con estas ecuaciones se lograría establecer un primer modelo, que sin embargo no serviría, ya que de esta manera no se establecen límites en el aporte de energía al depósito, por lo que el aporte constante de calor generaría temperaturas demasiado altas, que son inadecuadas para el ACS.

Es por eso, que es de obligada necesidad establecer un control de la temperatura, el cual se detalla a continuación.

Control de la temperatura del depósito.

Para el control de la temperatura del depósito, de manera que no se alcancen valores mucho mayores a la temperatura de consumo, 60°C, se ha establecido un ciclo de histéresis según la siguiente figura:

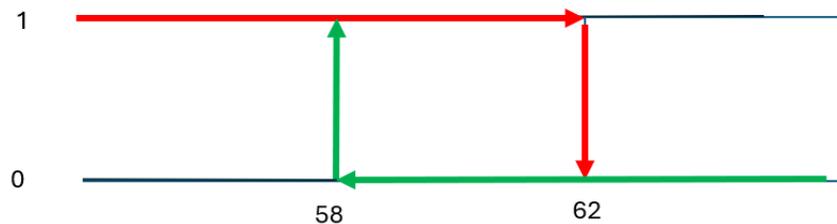


Figura 3-6. Ciclo de histéresis empleado en el depósito de ACS.

Este ciclo de histéresis consiste en establecer dos franjas alrededor de la temperatura de suministro deseada (60°C), una superior de 62°C y una inferior de 58°C.

Dicho esto, se establece que siempre que se alcance el límite superior, los 62°C, deja de aportarse calor al depósito mediante la instalación fotovoltaica. Este estado (0) se mantiene hasta que la temperatura del depósito baja por debajo del límite inferior de 58°C, en ese momento se pasa al estado 1, en donde entra en juego de nuevo la generación fotovoltaica para calentar el depósito hasta el límite superior.

De esta manera, se obtiene una fluctuación de temperatura máxima en torno a 58°C y 62°C, es decir, alrededor de la temperatura objetivo, que es 60°C, acercando también así el proceso de control a como se suele controlar en la realidad en una gran multitud de casos.

3.3.1.3. Venta del excedente de energía fotovoltaica generada

En los casos en los que la energía fotovoltaica generada no esté actuando para calentar el depósito interacumulador de ACS, es decir, los casos en los que el ciclo de histéresis de control presentado en el apartado anterior se encuentre en el estado 0, ese exceso de energía fotovoltaica (que no se estará empleando) será vendida a la red.

Así, para esos casos, como precio de venta se ha establecido un valor estimado de 0,04 €/kWh.

3.3.2. Calderas de gas natural para calentamiento auxiliar del ACS

Como apoyo a la instalación de acumulación del ACS, se contará con las calderas de gas natural existentes en la instalación convencional del edificio, aunque en este caso solo actuarán en aquellos casos donde la temperatura de salida del agua del depósito sea menor a 60°C, actuando por tanto in situ en cada vivienda para elevar la temperatura a los 60°C (temperatura de suministro).

Por tanto, el calor aportado por las calderas (calor auxiliar) se define como:

$$Q_{aux} = \dot{m}_w \cdot C_p \cdot (60 - T(t)) \quad (23)$$

4. DESARROLLO DEL CÁLCULO

4.1. Análisis del depósito del 'falling-film'

4.1.1. Procedimiento a seguir

Para el acople de las distintas ecuaciones correspondientes al sistema del *falling-film* se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se calcula el 'paso-noche', el cual consiste en calcular en base diezminutal, es decir, con un paso de tiempo de diez minutos comprendido entre las 0:00h y las 8:00h, cuánto calor es capaz de disiparse mediante el sistema propuesto, usando la ecuación (4). Con este calor, **y suponiendo que no existen pérdidas en el circuito del falling film**, se calcula la temperatura del instante posterior, de la siguiente manera: $T_w(t + \Delta t) = T_w(t) - \frac{Q}{m_w \cdot c_{p_w}} \cdot \Delta t$, siendo $\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
2. Una vez calculada la temperatura cada 10 minutos entre las 0:00h y las 8:00h se establece la condición de tomar que la temperatura final de la noche (8:00h) será la inicial del día. A continuación se realiza el 'paso-día', que consiste en calcular de nuevo la temperatura esta vez con paso diario (es decir, directamente) para las 16 horas del día restante. Aquí entra en juego por tanto la demanda diaria de refrigeración, que será la que se intenta combatir con el calor disipado durante la noche. Se calcula así el porcentaje de demanda cubierta por la disipación como: $\%Demanda \text{ cubierta} = \frac{Q_{max-disipable}}{Q_{diario}}$

Donde:

- Q_{diario} : es la demanda energética de refrigeración diaria.
 - $Q_{max-disipable}$: es la cantidad de calor máximo disipable durante el día, que se impone que ha de ser como máximo un incremento de la temperatura del agua hasta 22°C.
 - $\%Demanda \text{ cubierta}$: será como mucho el 100%, en el caso de que el calor máximo disipable supere la demanda energética de ese día. En tal caso la temperatura final del día será inferior a esos 22 °C máximos.
3. Establecer una relación entre el 'paso-día' y el 'paso-noche', de manera que la temperatura final del día sea la inicial de la noche del día siguiente.

4.1.2. Análisis de sensibilidad

Se lleva a cabo un análisis de 30 combinaciones de las dos variables de diseño (Área y Volumen):

- Áreas de captación (10.50 , 21 , 31.50, 42, 52.50 y 63 m²)
- Volúmenes de acumulación (5000, 10000, 15000, 20000, 25000 L)

Para esta variación de áreas de captación y volúmenes de acumulación se calcula la energía disipada y su contribución con respecto a la energía demandada. Posteriormente se representa en las siguientes gráficas.

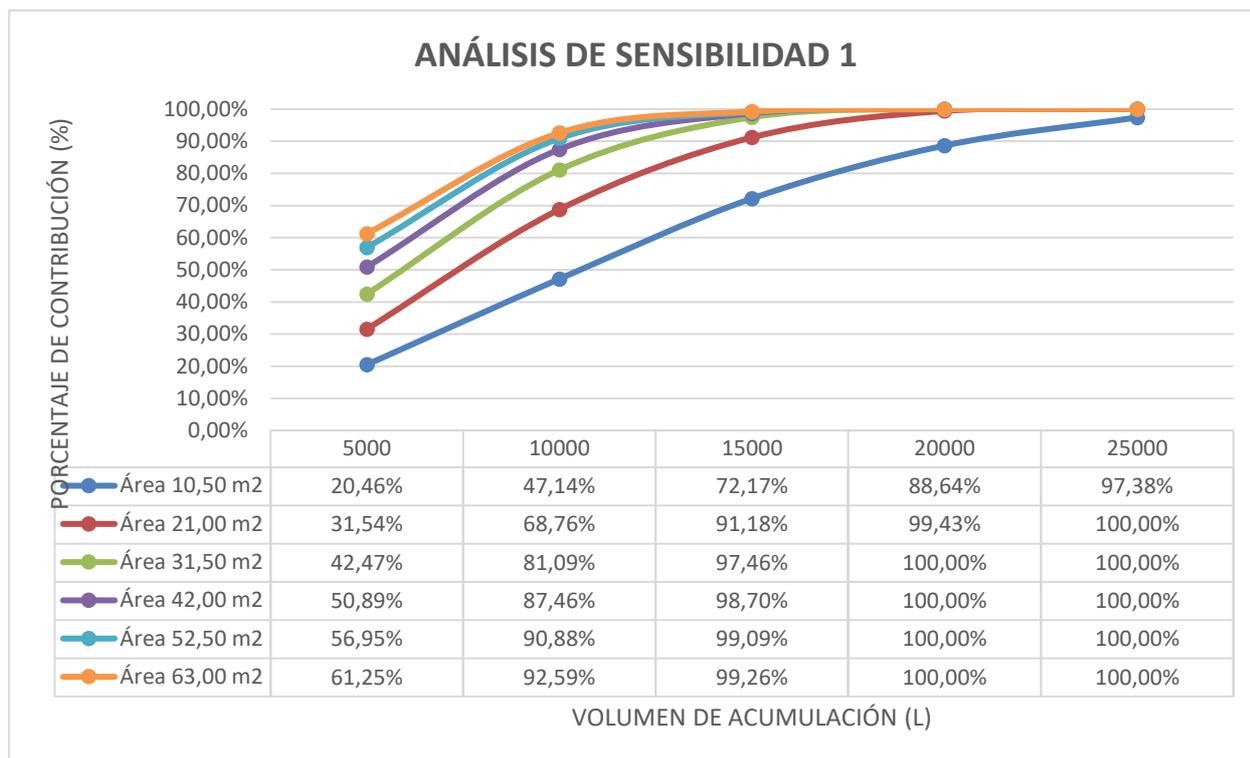


Figura 4-1. Análisis de sensibilidad del porcentaje de contribución por *falling film* en función del volumen y el área.

4.1.3. Pre-selección inicial del sistema *falling-film*

Tras llevar a cabo el análisis de sensibilidad donde se observa el comportamiento en cuanto a porcentaje cubierto de la demanda para diferentes valores de volúmenes del depósito de acumulación del agua del *falling-film* y diferentes valores de área de captación, se realiza una preselección de volúmenes y áreas con las que se trabajará en los siguientes cálculos.

Se entiende que para valores de volúmenes superiores a 15000 L no merece la pena económicamente un mayor volumen, puesto que los resultados obtenidos serán similares, por tanto, se decide reducir el análisis a unos volúmenes de 5000, 10000 y 15000 litros.

En cuanto al área de captación de manera similar, se decide restringir de aquí en adelante el área a los valores de 10.5, 21 y 31.5 metros cuadrados.

De esta manera, se contará con nueve combinaciones para el sistema *falling-film*, un número razonable, teniendo en cuenta que después se tendrán que combinar cada caso de volumen de depósito de agua del *falling-film* y área de captación con valores de volúmenes de depósitos interacumuladores de ACS.

4.2. Análisis de los paneles fotovoltaicos

4.2.1. Curva de comportamiento del módulo fotovoltaico

En primer lugar, se ha de elegir el modelo del panel fotovoltaico a utilizar. Para ello, se ha tomado uno de entre los modelos de paneles que aparecen en el estudio de [3], cuyas características se presentan a continuación:

Tabla 4-1. Datos del módulo fotovoltaico elegido (Condiciones estándar STC)

DATOS DEL MÓDULO ELEGIDO	
MARCA	ATERSA
MODELO	A-260P GSE
TECNOLOGÍA	Si-Po
V _{mpp} [V]	31
I _{mpp} [A]	8,39
V _{oc} [V]	37,4
I _{sc} [A]	9,27
NOCT	47
α	-0,32%
β	0,04%

Una vez tenemos los datos del panel, se elabora la curva de comportamiento del módulo fotovoltaico, para ello se sigue el siguiente procedimiento.

1. En primer lugar, se calcula el parámetro estandarizado V^* , mediante la ecuación (13), para valores de voltaje (V) entre 0 y 40 V, que son normalmente los de operación de un panel fotovoltaico.
2. Una vez obtenido V^* , se emplean las ecuaciones de ajuste para el cálculo de I^* : (10) y (11), para lo cual se ha de calcular previamente los valores V^* e I^* en el punto de máxima potencia (P_{mpp}), que es el que diferencia ambas secciones del ajuste. $V^*(P_{mpp}) = 0,83$ y $I^*(P_{mpp}) = 0,91$
3. Tras obtener los valores de I^* , se puede calcular la intensidad (I) del panel en condiciones estándar de ensayo (STC): $I = I^* \cdot I_{SC}$. Ya se tendría por tanto los valores de la curva I-V del panel (Figura 4-2).
4. Para calcular los valores de potencia generada por el panel, basta con multiplicar la intensidad (I) por el voltaje (V), pudiéndose representar la curva de comportamiento P-V del panel (Figura 4-3)

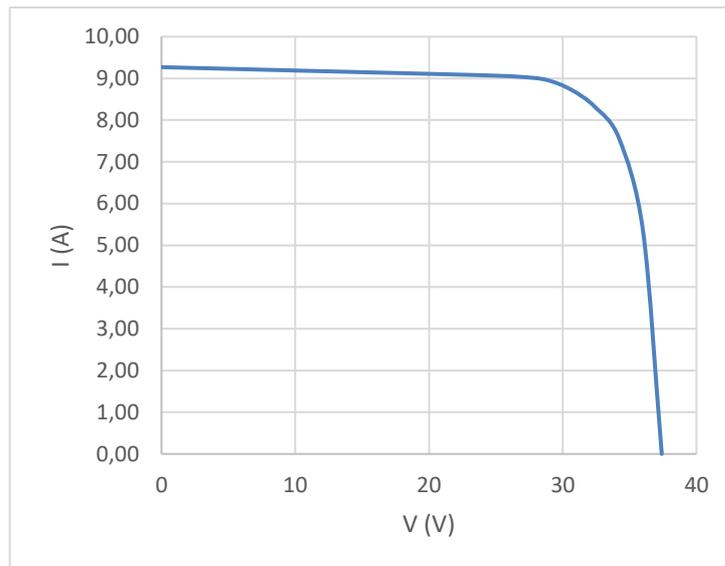


Figura 4-2. Curva de comportamiento I-V del panel seleccionado en condiciones STC

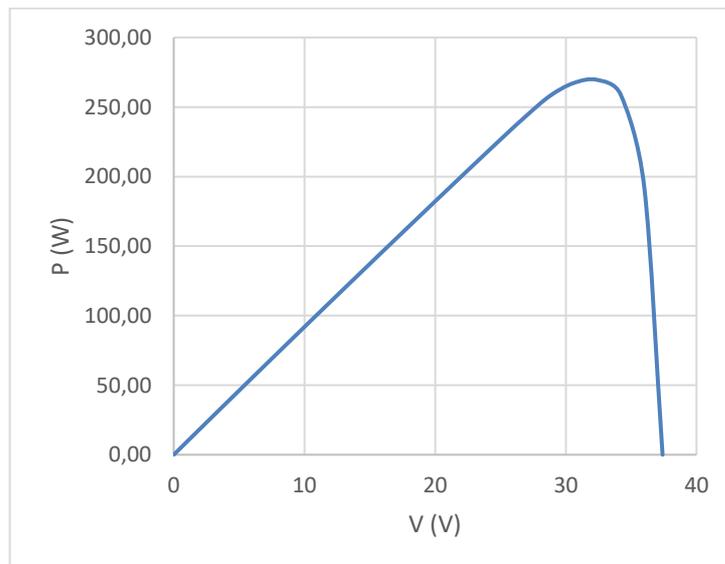


Figura 4-3. Curva de comportamiento P-V del panel seleccionado en condiciones STC

4.2.2. Obtención de la potencia fotovoltaica generada

Una vez se tiene el comportamiento del módulo fotovoltaico elegido en condiciones estándares STC, se ha de calcular cómo se comporta en las condiciones climáticas horarias objeto de estudio de este trabajo, las cuales difieren de las condiciones estándares.

Para ello, se hace uso de las ecuaciones (14), (15), (16), (17) y (18) para cada tramo horario de entre el 1 de junio hasta el 30 de septiembre.

Una vez se tiene los valores de I_{sc} y V_{oc} para los 2928 tramos horarios, se calculan los valores de I y V en cada uno de esos instantes, para ello:

$$V = \frac{V^*}{V_{oc}}$$

$$I = \frac{I^*}{I_{sc}}$$

Tras tener estos parámetros, la obtención de la potencia dada por cada módulo es inmediata: $P = I \cdot V$

No obstante, en aquellas horas donde no hay luz solar y se generaba una potencia residual ($\approx 0,9$ W) fruto de este producto, se ha establecido potencia generada nula de cara a ser coherentes con la realidad.

Para obtener la potencia dada por toda la instalación de paneles fotovoltaicos, se han establecido las siguientes hipótesis simplificativas:

- Cada módulo o panel fotovoltaico tiene por dimensiones 2,1x1m, de manera que esta dimensión coincida con la superficie de disipación establecida para el proceso del *falling-film*. Por tanto cada panel cuenta con un área de captación de 2,1 m².
- Se ignorará cualquier consideración sobre la distribución serie/paralelo de los paneles fotovoltaicos. Cada uno de ellos llevará incorporado un microinversor que pasará directamente la Corriente Continua a Corriente Alterna. De esta manera, se calculará la potencia proporcionada por cada panel considerando la potencia individual de cada panel multiplicada por el número de paneles fotovoltaicos.

Dicho esto, el cálculo de la potencia fotovoltaica total será:

$$P_{PV} = P_{panel} \cdot N_{paneles}$$

Donde:

- P_{panel} : Potencia de cada panel (W)
- $N_{paneles}$: número de paneles fotovoltaicos
- P_{PV} : Potencia fotovoltaica del campo solar (W)

Tras realizar este procedimiento, se ha representado en la siguiente gráfica (Figura 4-4), la potencia fotovoltaica obtenida frente a la irradiancia total incidida sobre los paneles fotovoltaicos, para un día cualquiera de los días de estudio, a fin de comprobar si existe coherencia en los resultados obtenidos.

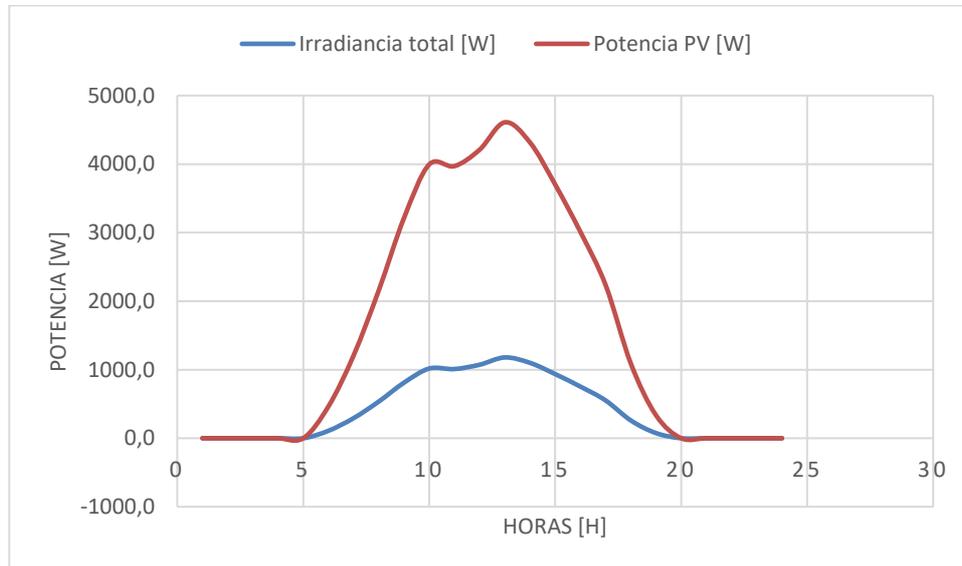


Figura 4-4. Potencia PV generada frente a Irradiancia total incidida para el 1 de junio.

Como se puede observar en la Figura 4-4, la gráfica obtenida muestra los resultados típicos que se obtienen normalmente cuando se representa la producción fotovoltaica frente a la irradiancia, mostrándose en las horas punta la primera en torno a varios ordenes de magnitud mayor que la segunda, siguiendo las curvas de ambas la misma tendencia, lo cual es coherente con lo que suele ocurrir.

4.3. Análisis del depósito de acumulación de ACS

4.3.1. Procedimiento a seguir

Para el acople de las distintas ecuaciones correspondientes al sistema del depósito interacumulador de ACS se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se calcula la ‘Oferta Radiante (kWh)’, el cual consiste en calcular en base diezminutal, para todos los días del año, cuánta energía es capaz de generarse mediante el sistema fotovoltaico, que será en este caso equivalente al calor aportado al depósito mediante el efecto Joule (no se consideran pérdidas).
2. Tras calcular la oferta radiante, se calcula para cada instante de tiempo el Q según la ecuación (22) aunque aplicando la condición de la histéresis de control, es decir, no se toma en cuenta el aporte fotovoltaico para calentar el depósito cuando se superan los 62°C y hasta que no disminuya de 58°C no vuelve a considerarse su contribución.
3. Con este calor, se calcula la temperatura del instante posterior, de la siguiente manera: $T_w(t + \Delta t) = T_w(t) - \frac{Q}{m_w \cdot c_{p_w}} \cdot \Delta t$, siendo $\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
4. Una vez calculada la temperatura se establece la condición de tomar que la temperatura del siguiente instante $T_w(t)$ como la del instante anterior $T_w(t+\Delta t)$. Tras esto, se calcula el calor auxiliar que deben dar las calderas de gas, siguiendo la ecuación (23).
5. Por último se añadiría una última columna donde se tendría el excedente de generación fotovoltaica, en los momentos donde no genera contribución al depósito. En dichos momentos será cuando se venderá a la red eléctrica.

Con eso ya se tendría la simulación del depósito acumulador de ACS para los 365 días del año en base diezminutal. Se puede observar este cálculo detallado en el enlace con el archivo de cálculo que se encuentra en los Anexos de cálculo.

4.3.2. Algunos resultados de la simulación

Tras llevar a cabo la simulación se muestran a continuación algunos resultados gráficos.

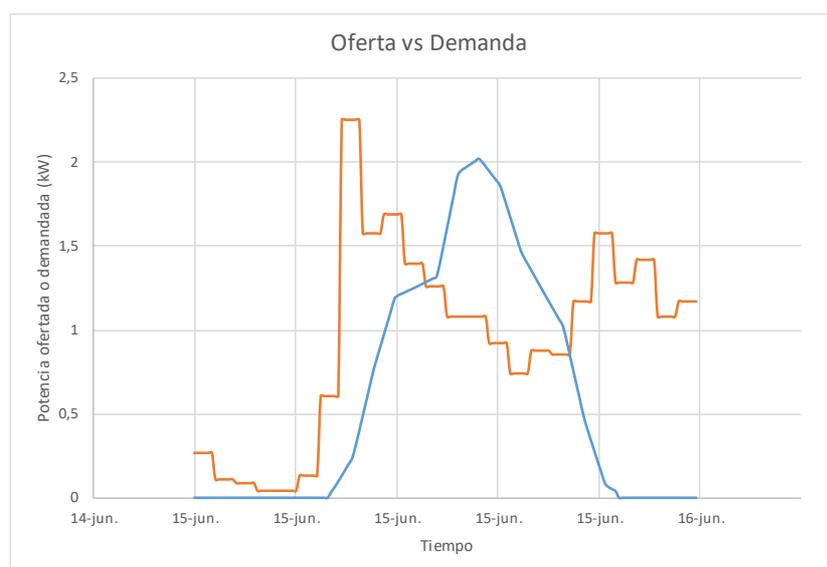


Figura 4-5. Oferta vs Demanda para un área de captación de 21 m² y un volumen de 1000 L para el 15-junio

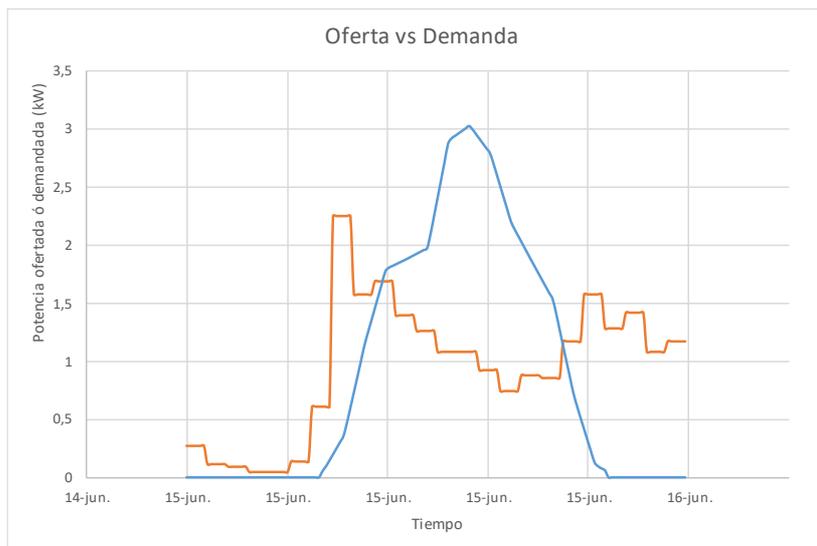


Figura 4-6. Oferta vs Demanda para un área de captación de 31.5 m^2 y un volumen de 1000 L para el 15-junio

En estas gráficas anteriores, la curva naranja se corresponde a la oferta de generación fotovoltaica y la curva azul a la demanda de ACS, ambas en término de potencia (kW). Se observa cómo a mayor área de captación mayor es la oferta fotovoltaica obtenida, frente a la demanda de ACS, que permanece inalterable al ser la misma para cada día de un mes determinado.

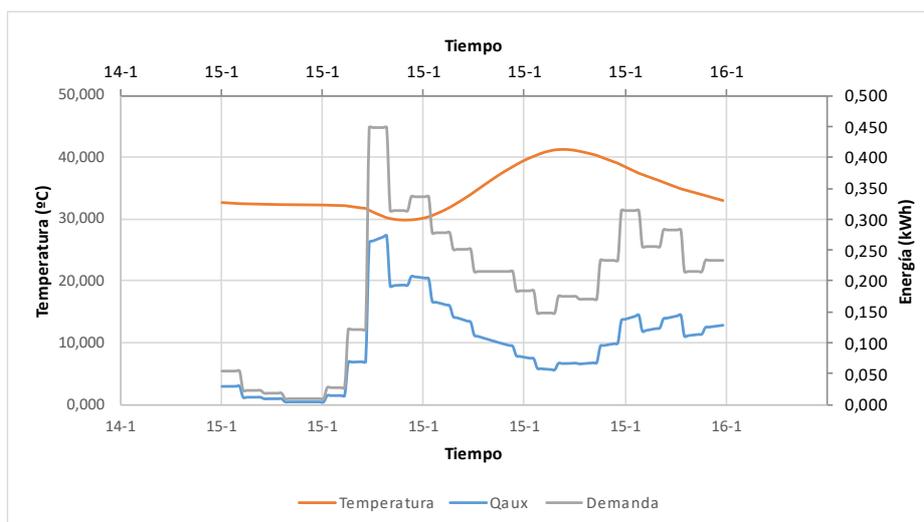


Figura 4-7. Qaux frente a Demanda + Temperatura del depósito, para un área de captación de 31.5 m^2 y un volumen de 500 L

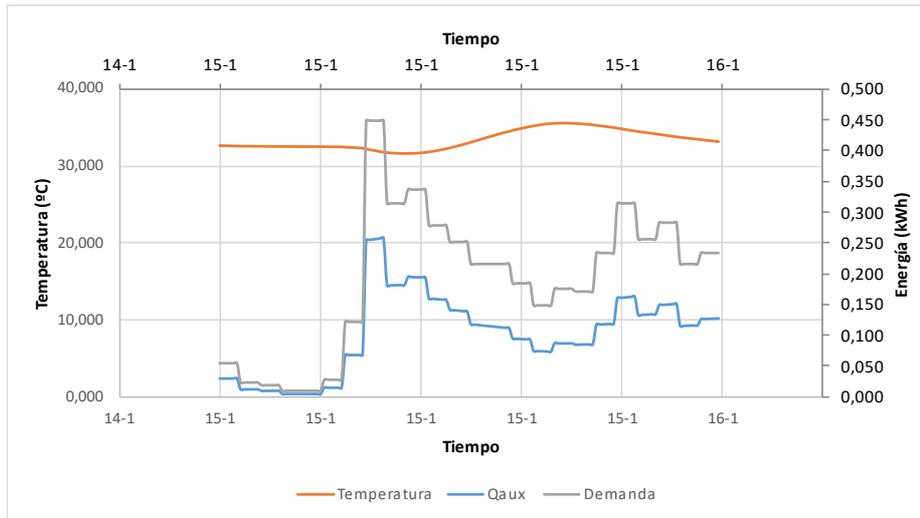


Figura 4-8. Qaux frente a Demanda + Temperatura del depósito, para un área de captación de 31.5 m² y un volumen de 1500 L

En las dos figuras anteriores se refleja el cambio de volumen para un mismo área de captación. Como se observa en la Figura 4-7, al ser un volumen de acumulación menor, la inercia que posee dicho volumen es menor que la mostrada en la Figura 4-8, donde la temperatura del depósito si se muestra más estable a lo largo del día.

Además puede observarse también en ambas gráficas una disminución de la temperatura en los momentos de pico de demanda, lo que refleja un correcto funcionamiento de la simulación.

4.3.3. Análisis de sensibilidad

4.3.3.1. Planteamiento previo

Para poder calcular el porcentaje de demanda de ACS anual cubierta, se va a seguir el procedimiento análogo al establecido en la norma ISO 13790:2004 [8] para el cálculo de la demanda de calefacción, donde se aplica un factor corrector llamado factor de utilización para penalizar las ganancias de calor y compensar probables pérdidas de calor adicionales cuando las ganancias de calor exceden la pérdida de calor calculada.

En el caso que aplica a este análisis, las ganancias de calor se traducen en la oferta fotovoltaica, que es la que genera ganancia al depósito de ACS, frente al calor demandado de ACS, que es el que influye en forma de pérdidas al depósito reduciendo su temperatura.

De esta manera se calculará un nuevo calor auxiliar que tendrá en cuenta este factor de utilización:

$$Q'_{aux} = Q_{PV} - \eta \cdot Q_{ACS} \tag{24}$$

Donde:

- Q'_{aux} : Nuevo calor auxiliar por parte de las calderas de gas.
- Q_{PV} : Oferta fotovoltaica suministrada
- η : Factor de utilización
- Q_{ACS} : Demanda de ACS

Para el cálculo del factor de utilización, se ha de elaborar en primer lugar una gráfica que relacione el factor de utilización junto con la siguiente variable que se define a continuación:

$$\gamma = \frac{Q_{PV}}{Q_{ACS}} = \frac{Oferta}{Demanda}$$

Se tendrá una gráfica para cada volumen de acumulación en función de su constante de inercia (τ), con la que se entraría a una gráfica como la siguiente:

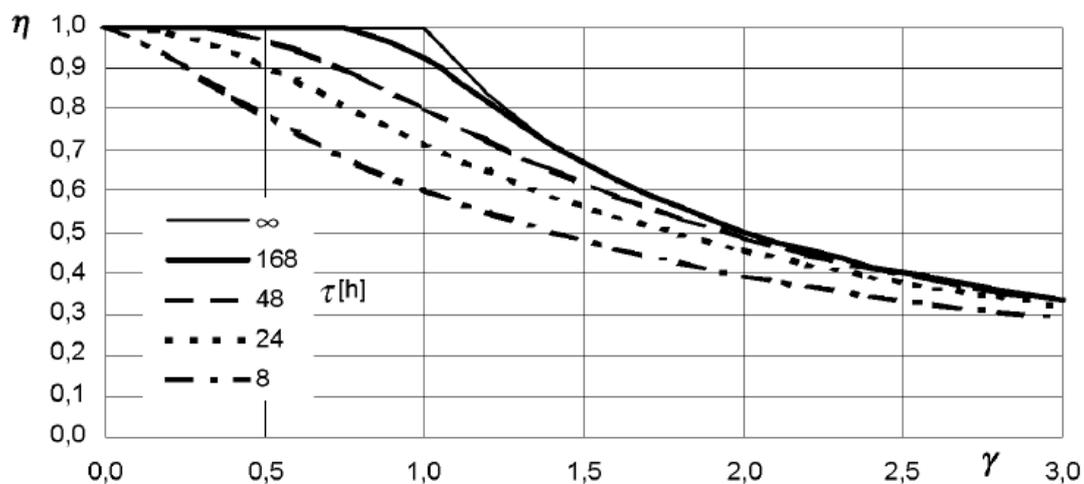


Figura 4-9. Gráfica para obtención del factor de utilización empleada en la norma ISO 13790:2004
 Para obtener esta gráfica se han medido los valores de oferta y demanda para un área de captación de 31.5 m² y volúmenes de 500L y 1000L. Dichas mediciones se pueden ver en el Anexo.
 Se obtuvo la siguiente gráfica:

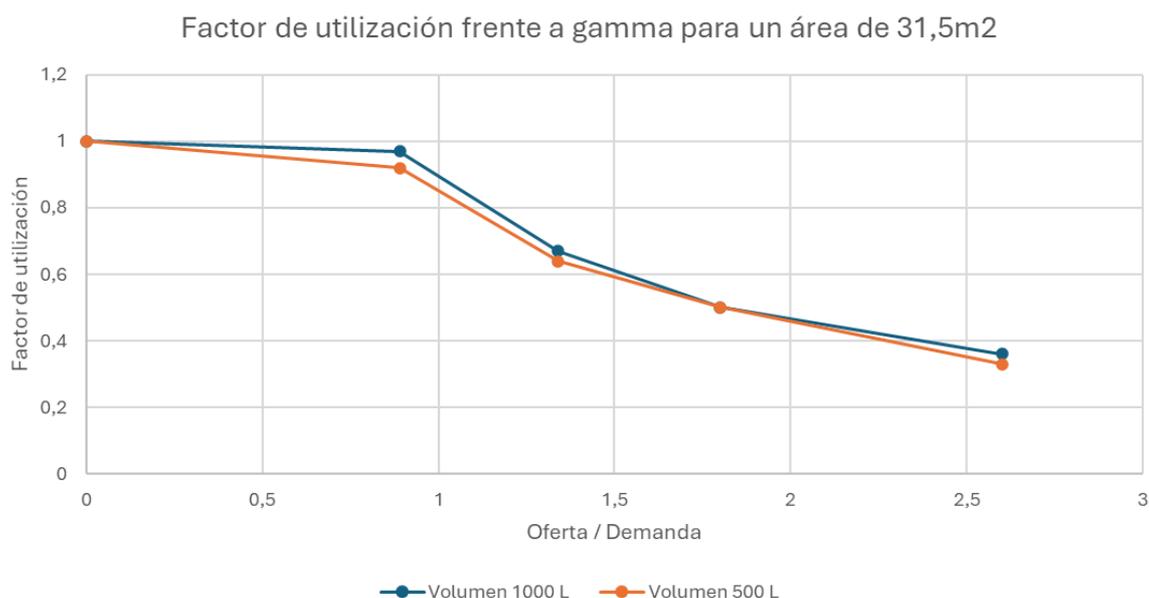


Figura 4-10. Factor de utilización frente a γ para un área de captación de 31.5 m²
 Por analogía en la tendencia entre la Figura 4-9 y la Figura 4-10, se le asigna los siguientes valores de constante de tiempo a los distintos volúmenes de acumulación objeto de estudio:

- Volumen de 500L: $\tau = 48$
- Volumen de 1000L: $\tau = 168$
- Volumen de 1500L: No se ha graficado pero correspondería a un valor superior a 168, se toma $\tau = 250$

Teniendo ya asignado a cada volumen una constante de tiempo, se puede calcular la constante aH, la cual servirá para obtener el valor del factor de utilización para cada volumen, el cual también siguiendo lo establecido en [8] se corresponde a:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau_H}{\tau_{H,0}} = 1 + \frac{\tau}{15}$$

Se obtienen los siguientes valores:

Tabla 4-2. Valores de τ y de aH para cada volumen

Volumen	Tau	aH	
500	48	1+ 48/15	4,20
1000	168	1+168/15	12,20
1500	250	1+250/15	17,67

Una vez habiendo calculado todos estos parámetros ya se puede evaluar el porcentaje cubierto sobre la demanda de ACS siguiendo la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje cubierto sobre ACS [\%]} = \left(1 - \frac{Q'_{aux}}{Q_{ACS}}\right) \cdot 100 \tag{25}$$

4.3.3.2. Análisis de sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad que se va a estudiar en este apartado, se van a tomar en cuenta los siguientes valores de cada variable:

- Areas de captación (10.50 , 21 y 31.50 m²)
- Volúmenes de acumulación (500, 1000 y 1500 L)

Para esta variación de áreas de captación y volúmenes de acumulación se recoge la oferta fotovoltaica y demanda de ACS y se calcula el porcentaje cubierto de la energía fotovoltaica sobre la demanda de ACS, según lo explicado en en 4.3.3.1. Planteamiento previo. Se muestra a continuación una tabla de ejemplo para una de las combinaciones:

Tabla 4-3. Tabla de resultados obtenidos para 31.5 m² y 500 L

31,5m2 500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	292,00	843,66	0,35	0,99	553,89	0,34
Febrero	354,52	762,02	0,47	0,98	415,26	0,46
Marzo	516,99	809,23	0,64	0,94	323,74	0,60
Abril	620,16	766,46	0,81	0,88	219,15	0,71
Mayo	784,45	757,58	1,04	0,79	135,23	0,82
Junio	860,63	683,15	1,26	0,71	76,39	0,89

Julio	897,71	671,49	1,34	0,68	64,16	0,90
Agosto	791,24	671,49	1,18	0,74	88,87	0,87
Septiembre	596,64	666,49	0,90	0,85	159,59	0,76
Octubre	457,03	757,58	0,60	0,95	323,95	0,57
Noviembre	315,09	783,13	0,40	0,99	472,19	0,40
Diciembre	264,20	843,43	0,31	0,99	580,62	0,31
Anual	6750,6517	9015,7045	-	-	3413,0385	62,1%

Puede consultarse el resto de los resultados de cada combinación en los anexos de cálculo.

Tras obtener los valores de porcentaje cubierto sobre la demanda, se representan estos en la siguiente gráfica:

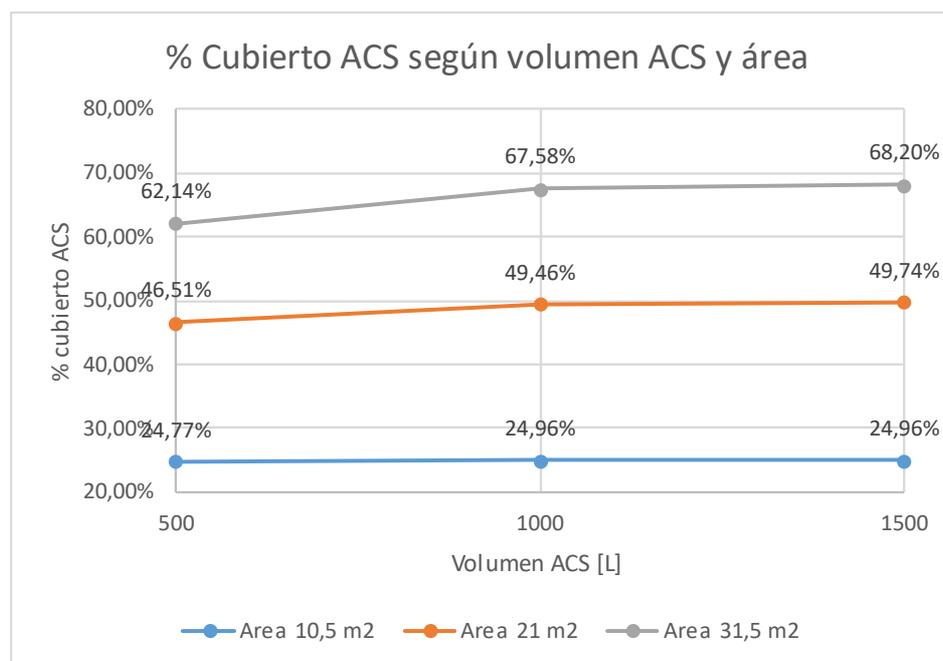


Figura 4-11. Análisis de sensibilidad del porcentaje cubierto sobre ACS, en función del área y el volumen.

4.3.4. Pre-selección inicial del sistema de ACS propuesto

Tras realizar el análisis de sensibilidad mostrado en la Figura 4-11, se van a descartar de cara al análisis final aquellas opciones que no cumplan con la restricción del porcentaje mínimo cubierto sobre la demanda de ACS por parte de la energía fotovoltaica, el cual se establece en un 60%.

Dicho esto, tan solo se tomará la solución correspondiente al área de captación de 31.5 m² (15 módulos fotovoltaicos), la cual es la única que cumple con la restricción comentada, por tanto ya se conoce cual será el área de captación de las soluciones planteadas, siendo esta la única que ha pasado las pre-selecciones, por lo que será la única a tomar en cuenta en el análisis final.

4.4. Comparación de soluciones

Tras la realización de los dos análisis de sensibilidad de este trabajo, ya se tiene acotada las distintas soluciones viables que se estudiarán como alternativa a la solución de instalación convencional, las cuales son:

- Área de captación (31.5 m²)
- Volúmenes del depósito acumulador del agua del falling-film (5000, 10000 y 15000 L)
- Volúmenes del depósito interacumulador del ACS (500, 1000 y 1500 L)

Se presenta a continuación una comparación para los nueve casos a considerar de los valores obtenidos de:

- Excedente total de energía fotovoltaica anual en kWh
- Ganancia obtenida por la venta del excedente fotovoltaico a la red eléctrica, en euros. Considerando para ello un valor estimado de venta de 0,04 €/kWh.
- Consumo total anual de la caldera de gas natural en kWh
- Gasto medio de operación anual de la caldera de gas natural anual, en euros. Considerando para ello un gasto de operación de las calderas de 0,14369 €/kWh [9].
- Consumo total eléctrico del apoyo convencional de la bomba de calor en refrigeración, en términos anuales, en kWh. Considerando para el cálculo Consumo=Demanda/SCOP.
- Gasto medio en electricidad por funcionamiento del apoyo convencional (bomba de calor) en refrigeración, en euros.

Tabla 4-4. Comparación de operación de las distintas soluciones propuestas con respecto a la convencional

Area de captación (m ²)	Volumen Acumulación ACS (L)	Volumen acumulación Falling-film (L)	Total Excedente PV anual (kWh)	Ganancia VENTA ELECTRICIDAD (euros)	Total Consumo Caldera de gas (kWh)	Gasto medio op. Caldera de gas (euros)	Total consumo ELECTRICO apoyo convencional Refrigeración (kWh)	Gasto eléctrico convencional Refrigeración (euros)
31,5	500	5000	948,75	37,95 €	3541,97	508,95 €	822,65	197,44 €
31,5	500	10000	948,75	37,95 €	3541,97	508,95 €	270,39	64,89 €
31,5	500	15000	948,75	37,95 €	3541,97	508,95 €	36,25	8,70 €
31,5	1000	5000	614,79	24,59 €	3214,74	461,93 €	822,65	197,44 €
31,5	1000	10000	614,79	24,59 €	3214,74	461,93 €	270,39	64,89 €
31,5	1000	15000	614,79	24,59 €	3214,74	461,93 €	36,25	8,70 €
31,5	1500	5000	464,23	18,57 €	3072,05	441,42 €	822,65	197,44 €
31,5	1500	10000	464,23	18,57 €	3072,05	441,42 €	270,39	64,89 €
31,5	1500	15000	464,23	18,57 €	3072,05	441,42 €	36,25	8,70 €
Solución convencional			0	0,00 €	1960,73	281,74 €	3030,22	727,25 €

En esta primera comparación inicial, se puede observar cómo a menores valores de volumen de acumulación de ACS, mayor es el gasto en consumo de las calderas y mayor es el excedente, al ser la acumulación menor.

Se observa también la influencia del volumen de acumulación del agua del falling-film en el consumo eléctrico por parte de la solución convencional (bomba de calor) en refrigeración, con una relación inversa, a mayor volumen, menor consumo eléctrico y por tanto menor coste de electricidad, debido lógicamente a una mayor acumulación del agua fría.

Además, comparando la solución convencional con las nuevas soluciones, se observa una diferencia significativa en el consumo eléctrico, que supone un gasto bastante más elevado en electricidad de lo que

supondría la incorporación de cualquiera de las soluciones más caras en cuanto a consumo eléctrico (727.25 € frente a 197.44 €, un valor 3.7 veces mayor), sumado a que tampoco entra ganancias por venta de electricidad al no haber generación fotovoltaica, por tanto y aunque el consumo de las calderas de gas sea menor, el montante global económico de operación es peor que cualquiera de las soluciones propuestas (+340,55 € sobre la solución propuesta más cara), por tanto en términos de operación no parece rentable barajar la instalación convencional.

En el siguiente apartado se añadirán además a esta comparación sobrecostes iniciales de las instalaciones (con respecto a la instalación convencional existente) y costes de mantenimiento, entrando en mayor detalle económico.

5. ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE LAS SOLUCIONES

A continuación se llevará un análisis económico basado en el sobrecoste que supondría las diferentes instalaciones innovadoras planteadas frente a la instalación convencional que se ha establecido como instalación de partida del edificio.

El objetivo de este capítulo es establecer los costes de ciclo de vida de cada una de las soluciones innovadoras propuestas y también comparar cada uno de estos costes de ciclo de vida frente al impacto en términos de energía que suponen cada una de estas soluciones, en tanto que han de cumplir las restricciones establecidas en el CTE-HE0. Tras esto, se elegirá la solución óptima, que será tomada como la solución a incorporar en nuestro edificio.

5.1. Cálculo del Coste del Ciclo de Vida

En primer lugar se va a calcular el Coste del Ciclo de Vida, el cual es un parámetro que mide el coste global de una instalación a lo largo de su vida útil, teniendo en cuenta el gasto en inversión inicial junto con el gasto en operación y mantenimiento anual a lo largo de los años, incluyendo el factor de encarecimiento del coste de las cosas a lo largo del año, medido a través del índice de inflación. Así, este Coste del Ciclo de Vida (CCV), se define como:

$$CCV = SCI + COPM \cdot \sum_{x=1}^n \frac{1}{(1+i)^x} \quad (26)$$

Donde:

- *SCI* : Sobrecoste inicial (sobre la instalación convencional)
- *COPM*: Coste de Operación y Mantenimiento anual. Su cálculo es la suma del coste de operación anual reflejado en la Tabla 4-4 con el coste de mantenimiento anual que requiere la instalación, el cual se calculará en el siguiente apartado.
- *n*: Número de años de la vida útil, que se establece en 20 años.
- *i* : Índice de inflación. Se estima en un valor de 0,03.

5.2. Datos económicos utilizados

Para el cálculo del CCV se necesitan como datos el sobrecoste inicial de las instalaciones a incorporar: Instalación fotovoltaica y depósitos de acumulación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 5-1. Costes de las instalaciones innovadoras utilizados

Instalación	Coste inicial	Coste mantenimiento anual
Interacumulador ACS 500 L	2.659,60 €	55,85 €
Interacumulador ACS 1000 L	5.287,45 €	111,04 €
Interacumulador ACS 1500 L	7.850,82 €	164,87 €
Instalación fotovoltaica (15 captadores)	3.002,55 €	41,33 €
Depósito de inercia 5000L	7.253,94 €	94,82 €
Depósito de inercia 10000L*	11.654,41 €	152,34 €
Depósito de inercia 15000L*	18.724,33 €	244,76 €

Los datos recogidos en la tabla anterior han sido calculados tomando los valores de elementos existentes en el programa *Generador de precios*, de Cype [10].

Los datos con el símbolo * han sido estimados en base a relaciones de precios de depósitos de otras dimensiones, al no haberse encontrado en dicho programa depósitos de tales dimensiones.

Estos cálculos y suposiciones se encuentran recogidos en el Anexo de Cálculo.

5.3. Cumplimiento del Código Técnico

Además del análisis del Coste del Ciclo de Vida, se tendrá en cuenta los parámetros normativos con los que ha de cumplir el edificio en base a lo establecido en el Documento Básico de Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (DB-CTE -HE0) [5] a la hora de analizar los resultados obtenidos.

Para ello, se ha realizado el cálculo de la Energía Primaria tanto Total como No Renovable para cada uno de los casos a analizar, los cuales se pueden consultar en los anexos de cálculo.

Como resultado del cálculo se obtuvieron los siguientes valores de Energía Primaria:

Tabla 5-2. Valores obtenidos de Energía Primaria No Renovable y Energía Primaria Total para cada solución.

Area de captación (m ²)	Volumen Acumulación ACS (L)	Volumen acumulación Falling-film (L)	Energía primaria No Renovable (kWh/m ²)	Energía Primaria Total (kWh/m ²)
31,5	500	5000	20,7	52,7
31,5	500	10000	18,3	56
31,5	500	15000	17,3	57,3
31,5	1000	5000	19,3	52,4
31,5	1000	10000	16,9	55,6
31,5	1000	15000	15,9	57
31,5	1500	5000	19,2	52,4
31,5	1500	10000	16,7	55,6
31,5	1500	15000	15,7	57

Los valores máximos que establece el HE0 para el caso de aplicación son 55 kWh/m² de Energía Primaria No Renovable y 80 kWh/m² de Energía Primaria Total.

Como se observa, todos los casos de estudio cumplen el HE0 holgadamente, además del HE4 (se puede observar en las tablas de cálculo de los anexos) y dado que la solución escogida ya cumplía las restricciones del HE1 según el trabajo de base de partida, se puede decir que todas las soluciones cumplen las restricciones normativas que se le imponen, por lo que cualquiera de ellas puede ser una solución elegible, el criterio por tanto de elección de la solución innovadora a implantar en el edificio lo determinará el coste del ciclo de vida, es decir, los parámetros económicos.

5.4. Línea de subvención aplicable

Una vez calculado los distintos valores de Energía Primaria, tanto No Renovable como Total, era necesario el plantear la posibilidad de incorporar una subvención a las instalaciones propuestas, de cara que se pueda reducir el CCV de las soluciones que cumplan los requisitos. Dicho esto, se ha investigado acerca de esta posibilidad y se ha encontrado una Línea de Subvenciones de la Junta de Andalucía del Plan de Ecovivienda que es de aplicación al edificio. Se trata de la Línea 3: *Plan Eco Vivienda: Programa de ayudas a las actuaciones de rehabilitación a nivel edificio (Línea 3)*, cuyas bases completas pueden consultarse en la siguiente referencia [11].

Las actuaciones subvencionales de aplicación al caso del edificio estudiado que se cita son las siguientes:

“Actuaciones de mejora o rehabilitación en las que se obtenga:

- *Reducción del consumo de energía primaria no renovable de al menos el 30%*
- *y reducción de la demanda energética anual global de calefacción y refrigeración de al menos 35% en zonas climáticas D y E y 25% en zona climática C.*
 - *No exigible en edificios protegidos.*
 - *Posibilidad de considerar actuaciones realizadas en los últimos 4 años.”*

El edificio estudiado se encuentra en una zona climático B, por lo que no le es de aplicación el segundo punto. Por tanto **el único requisito para ser subvencionado es que tras la mejora el edificio obtenga una reducción de la Energía Primaria No Renovable mayor al 30%**, para lo cual se contaría con el siguiente importe subvencionado sobre el coste inicial de la instalación:

Ahorro energético conseguido con la actuación	Porcentaje máximo de la subvención	Vivienda	Locales comerciales u otros usos
		Cuantía máxima por vivienda	Cuantía máxima de la subvención por m ²
$30\% \leq \Delta C_{ep,nren} < 45\%$	40%	6.300 €	56 €
$45\% \leq \Delta C_{ep,nren} < 60\%$	65%	11.600 €	104 €
$\Delta C_{ep,nren} \geq 60\%$	80%	18.800 €	168 €

Figura 5-1. Importe de las subvenciones de la Línea 3 del Plan Eco Vivienda de la Junta de Andalucía.
Recuperado de [11]

Teniendo en cuenta esto, se tendrá en cuenta la concesión de esta subvención en los casos que cumplan los requisitos, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 5-3. Determinación de soluciones subvencionables y porcentaje subvencionado sobre coste de instalación

Area de captación (m ²)	Volumen Acumulación ACS (L)	Volumen acumulación Falling-film (L)	E _{pnr} (kWh/m ²)	% reducción	¿ Tiene subvención ?	Porcentaje subvencionado sobre coste de instalación
31,5	500	5000	20,7	-19,46%	NO	0%
31,5	500	10000	18,3	-28,79%	NO	0%
31,5	500	15000	17,3	-32,68%	SI	40%
31,5	1000	5000	19,3	-24,90%	NO	0%
31,5	1000	10000	16,9	-34,24%	SI	40%
31,5	1000	15000	15,9	-38,13%	SI	40%
31,5	1500	5000	19,2	-25,29%	NO	0%
31,5	1500	10000	16,7	-35,02%	SI	40%
31,5	1500	15000	15,7	-38,91%	SI	40%

En la tabla anterior se ha calculado el porcentaje de reducción de la Energía Primaria No Renovable frente a la que se tiene en la instalación convencional actual (25,7 kWh/m²), y según este porcentaje, se tiene un porcentaje de la instalación subvencionada. En todos los casos subvencionados ha resultado en un 40% ya que el porcentaje de reducción no ha sobrepasado el 45%.

Con esto, ya se puede plantear un análisis más homogéneo de las soluciones planteadas, puesto que con el dinero cubierto por la subvención se ha equilibrado el CCV de las distintas soluciones.

5.5. Resultados obtenidos

Tras haber calculado el Coste del Ciclo de Vida teniendo en cuenta la cantidad subvencionada a las soluciones

que cumplan con los requisitos, se han analizado los casos planteados frente a los valores de Energía Primaria Total y Energía Primaria No Renovable, donde se obtuvieron las siguientes gráficas:

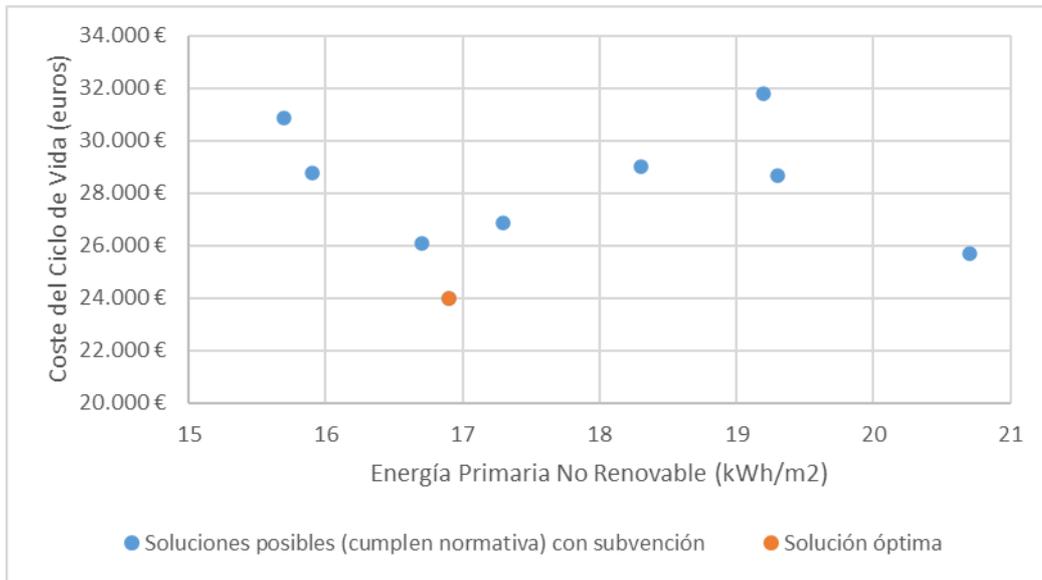


Figura 5-2. Energía Primaria No Renovable frente al CCV de las soluciones planteadas

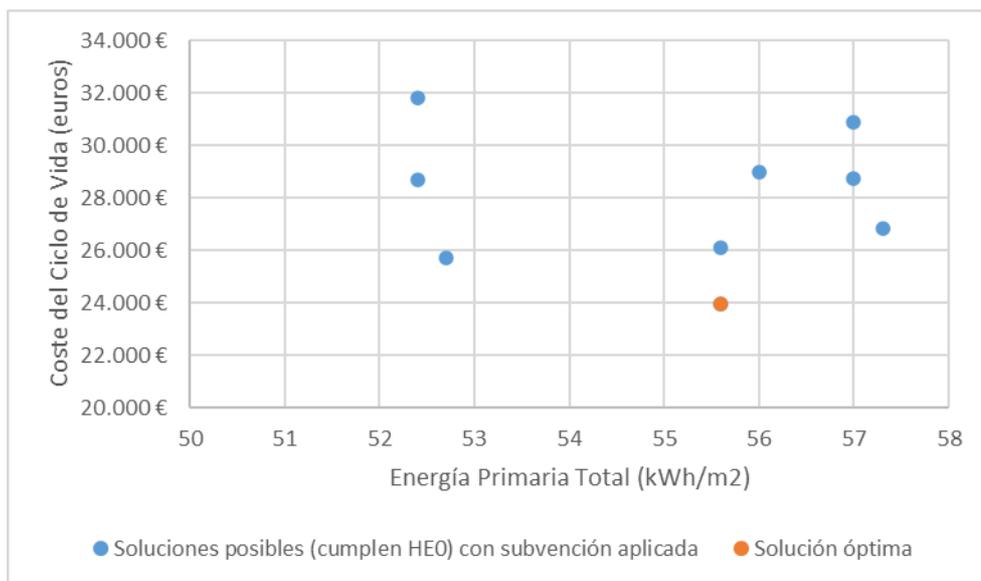


Figura 5-3. Energía Primaria Total frente al CCV de las soluciones planteadas

En las gráficas anteriores, puesto que todas las soluciones cumplen con la normativa del HE0, no supone una mayor ventaja en este sentido elegir una solución mejor energéticamente, por lo que se ha priorizado a la hora de elegir la solución óptima a aquella con menor Coste del Ciclo de Vida, que es la que se refleja con un punto naranja.

Por tanto, la solución innovadora elegida como solución de instalación a incorporar al edificio es la correspondiente a:

- Área de captación de 31,5 m²: 15 paneles fotovoltaicos.
- Volumen de acumulación del depósito del agua del falling-film: 10.000 L
- Volumen de acumulación del interacumulador para el ACS: 1.000 L
- Coste del Ciclo de Vida (con subvención aplicada): 23.971,74 €
- Ahorro obtenido por la aplicación de la subvención: 7.977,76 €

Puede observarse en detalle el cálculo y los valores obtenidos del CCV, con subvención y sin subvención en los Anexos.

6. CONCLUSIONES

Una vez planteados los modelos propuestos, simulados y obtenidos los resultados, se van a llevar a cabo una serie de conclusiones finales:

- La solución innovadora de pre-enfriamiento del agua de las baterías de frío del equipo autónomo o bomba de calor logra una gran eficacia en su labor de disipación del calor mediante intercambio convectivo-radiante, lo cual lleva a pensar en la posibilidad de que esta solución pueda ser una solución muy factible en la rehabilitación y creación de nuevos edificios, sobre todo por que se trata de una técnica de enfriamiento natural, con lo que eso conlleva en la actualidad, en cuanto al auge de las tecnologías renovables.
- La combinación de esta solución innovadora con paneles fotovoltaicos a modo de láminas es un complemento perfecto para aprovechar la energía en cualquier momento del día, permitiendo en los meses de verano disipar calor a través del rociado de agua en las horas nocturnas y por el día generar electricidad mediante los módulos fotovoltaicos.
- El volumen de acumulación de los depósitos juega un gran papel en la inercia térmica del agua almacenada en la misma, se ha comprobado cómo un menor volumen puede provocar quizás picos de calentamiento elevados, pero no consistentes en el tiempo a lo largo del día, viéndose perjudicada la temperatura del agua en horas nocturnas donde no se aporta calor (para el caso del depósito del ACS)
- De igual manera ocurre para el depósito de inercia del agua que pre-enfría el equipo autónomo, que en las horas de luz que es cuando no se realiza la disipación, a un menor volumen, el agua enfriada por la noche dura menos tiempo. Por tanto se destaca la importancia del papel de la inercia térmica y su influencia en el funcionamiento de los sistemas.
- El sistema planteado en la instalación convencional es un sistema bastante válido y que permite cumplir a la perfección la normativa del DB-HE sin una inversión excesiva, no obstante el coste de operación anual debido a la alta demanda eléctrica del sistema de aerotermia con bomba de calor es un punto en contra frente a las soluciones innovadoras planteadas, las cuales reducen este gasto anual considerablemente.
- La instalación con las soluciones innovadoras planteadas permite tal margen de mejora que se ve recompensado en forma de subvenciones que ayudan abaratar los costes de inversión inicial, lo cual permite destacar su gran potencial de mejora de la eficiencia de los edificios.

Por tanto, en vista de lo comentado, se concluye finalmente que se demuestra que un edificio con características constructivas medias puede llegar a tener una gran eficiencia energética sin tener necesariamente que reducir sus consumos, sino mediante la incorporación de soluciones innovadoras y renovables que permiten, además abaratar el coste de operación anual. Lógicamente estas instalaciones tienen un coste de inversión inicial elevado, por tanto de cara a que en un futuro cada vez más personas puedan adoptar estas soluciones, será primordial tal y como se demuestra en el análisis del CCV, que el Estado o bien las diferentes Comunidades Autónomas ofrezcan cada vez más ayudas en forma de subvenciones parciales del coste de la inversión, puesto que esto hace más asumibles los altos costes que acarrear algunas de las soluciones, y sobretodo incentivaría al cambio gradual

de las instalaciones de los edificios, lograndose una mayor sostenibilidad y menor impacto al medio ambiente, , el cual es uno de los grandes problemas que existen hoy en día.

REFERENCIAS

- [1] «Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) - HE0. Limitación del consumo energético,» de *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2013.
- [2] «Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE) - HE1. Condiciones para el control de la demanda energética,» de *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2013.
- [3] «Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) - HE4. Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria,» de *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, 2013.
- [4] Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla, Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009.
- [5] M. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, J. A. Tenorio Ríos y S. Álvarez Domínguez, «Falling-film as natural cooling technique: Modelling and energy impact assessment,» *Energy Conversion and Management* 221, 2020.
- [6] M. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, E. Rodríguez Jara, J. L. Molina Félix y S. Álvarez Domínguez, «Decision-making approach: A simplified model for energy performance,» *Energy Conversion and Management* 177, 2018.
- [7] Departamento de Ingeniería Eléctrica, «Práctica 4: Generación Fotovoltaica,» de *Asignatura de Generación Eléctrica Renovable, Máster Universitario en Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla*, 2021.
- [8] CEN, «ISO 13790:2004. Eficiencia térmica de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios».
- [9] Magallón Instalaciones, «¿Cuánto consume una caldera de gas?,» [En línea]. Available: <https://calderasgascalfaccionzaragoza.com/cuanto-consume-caldera-de-gas/#:~:text=Seg%C3%BAn%20Choose%2C%20el%20coste%20es,euros%20de%20gas%20y%20electricidad..> [Último acceso: 31 Octubre 2024].
- [10] CYPE Ingenieros, S.A., «Generador de precios».
- [11] Junta de Andalucía, «Plan Eco Vivienda: Programa de ayudas a las actuaciones de rehabilitación a nivel edificio (Línea 3),» [En línea]. Available: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoarticulaciondelterritorioyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/plan-eco-vivienda/paginas/plan-eco-edif-p3.html>. [Último acceso: 31 Octubre 2024].
- [12] S. Álvarez Domínguez, J. Sánchez Ramos y M. C. Guerrero Delgado, «Infiltración/ventilación. Integración en procedimiento simplificado,» de *Asignatura de Edificios de Alta Eficiencia Energética, Grupo Termotecnia - Universidad de Sevilla*.

ANEXOS

ANEXO A – BASE DE PARTIDA

1. Resto de Vistas del Edificio de Partida

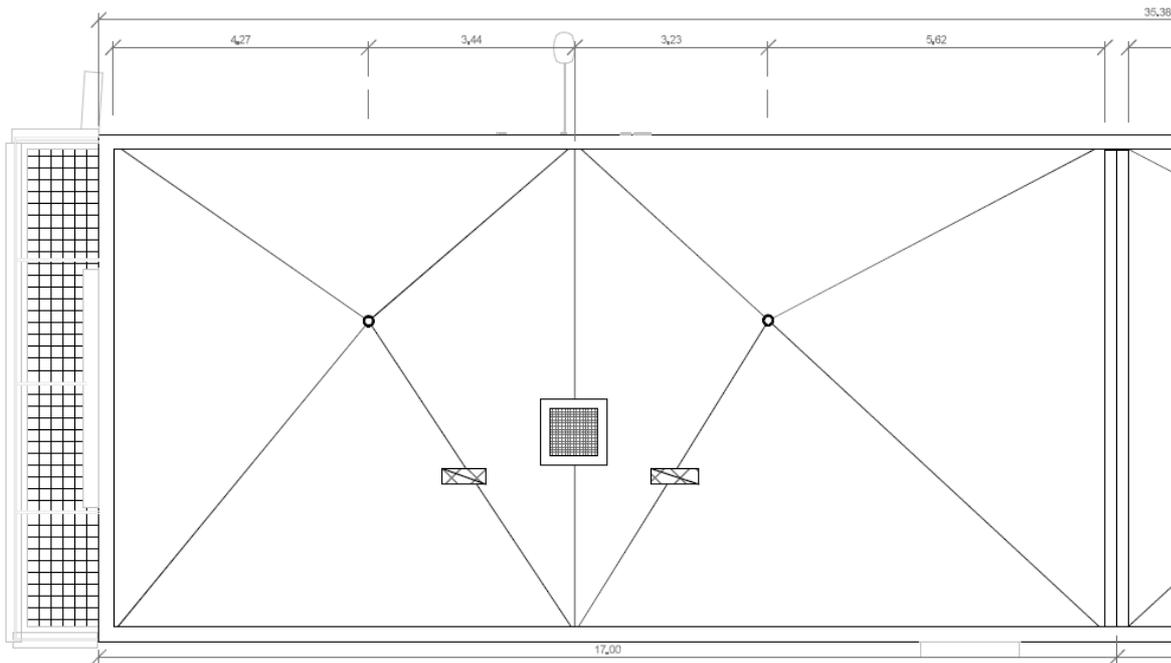


Figura 0-1. Vista en Planta del Edificio Objeto de Estudio (Cubierta)

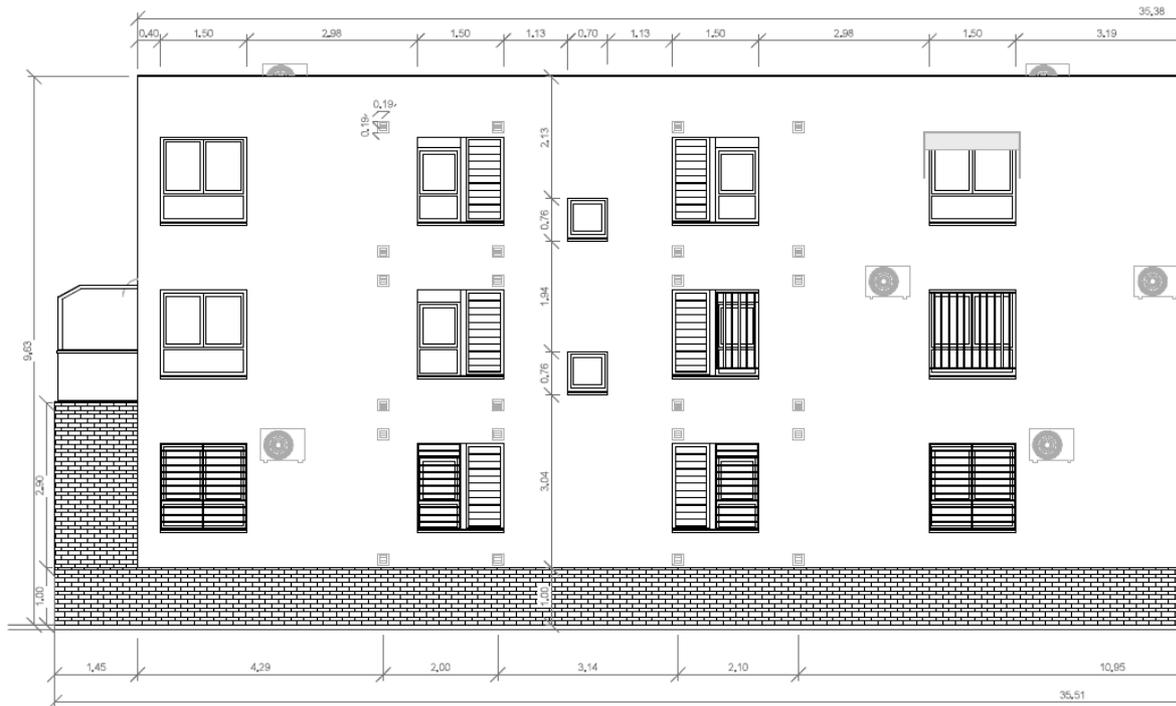


Figura 0-2. Alzado del edificio (Fachada exterior)

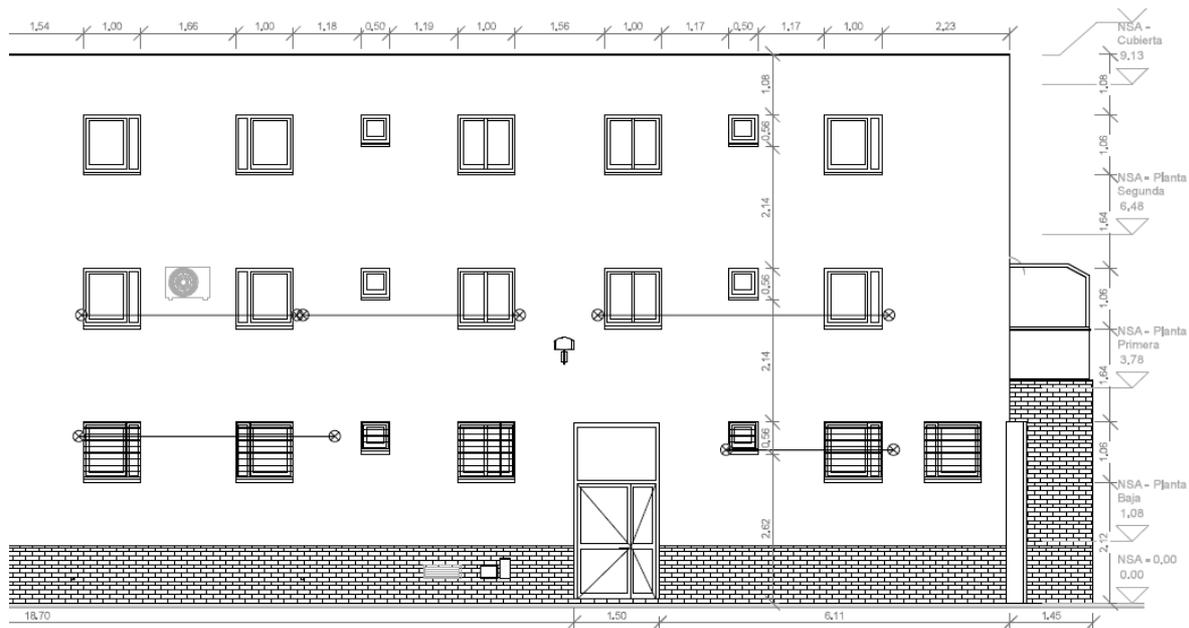


Figura 0-3. Alzado del edificio (Fachada patio)

2. Comportamiento del edificio en el Caso del Óptimo Reglamentario

Se presentan a continuación tanto los parámetros característicos como el comportamiento mediante la temperatura de oscilación libre de la que fue elegida en el trabajo de base como solución óptima reglamentaria, a modo de comparación con la solución inicial del edificio y la solución constructiva que se ha elegido en el cual se basan los cálculos de este TFM.

2.1. Parámetros característicos

Tabla 0-1. Parámetros característicos a nivel de componentes en la solución óptima reglamentaria.

Parámetro	Valor
Transmitancia cerramientos opacos, $U_{op} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	0,26
Transmitancia cubierta, $U_{cub} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	0,18
Transmitancia cerramientos semitransparentes, $U_{sem} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	2,00
Factor solar cerramientos semitransparentes en invierno, $g_{inv} (-)$	0,59
Factor solar cerramientos semitransparentes en verano, $g_{ver} (-)$	0,05
Caudal de renovaciones/hora infiltrado equivalente, $ACH_{eq} (1/h)$	0,38
Caudal de renovaciones/hora infiltrado durante la noche, $ACH_{noche} (1/h)$	10

Si se compara con la Tabla 2-3, se observa una notable diferencia en cada uno de los parámetros, teniéndose en este caso una mejora de cada uno de ellos. Además en esta nueva solución se incorpora el control solar, de ahí a que el factor solar varía tanto de invierno a verano.

2.2. Temperatura de oscilación Libre

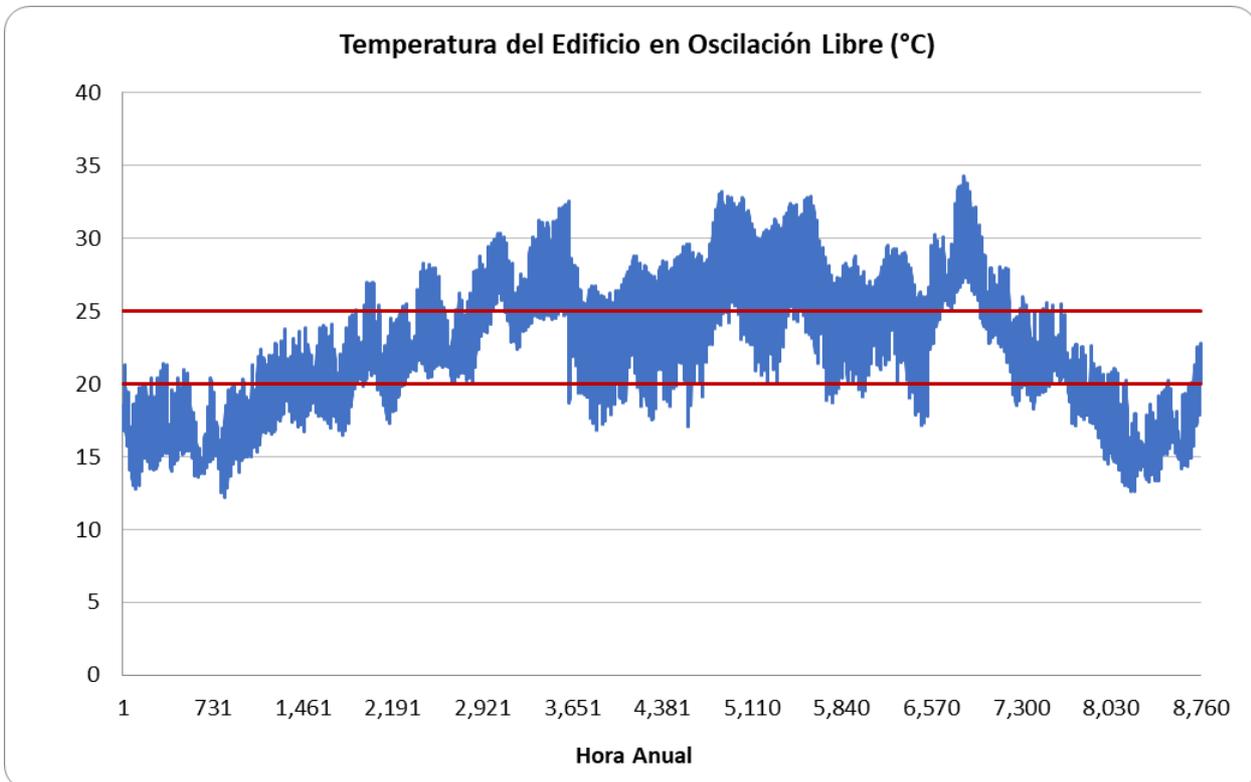


Figura 0-4. Evolución de la temperatura de oscilación libre para el caso óptimo reglamentario

Se observa en este caso además también una notable diferencia con respecto a las Temperaturas de Oscilación Libre de la Solución Inicial y de la Solución Escogida Intermedia, pues como se observa aquí, la temperatura de oscilación libre se encuentra mayor tiempo entre las franjas de confort (20-25 °C), constantando por tanto el hecho de que se trata de una solución más óptima energéticamente al necesitar menor aportación de los equipos.

ANEXO B – CÁLCULOS

1. Horarios de funcionamiento y fuentes internas (Base de partida)

Para la estimación de la ocupación se utiliza la Tabla 2.1. del DB – SI, en la que se establecen las densidades de ocupación según el uso previsto del edificio y el tipo de actividad.

Por un lado se tiene la superficie total del edificio:

$$Sup_{Total} = Sup_{Planta Baja} + Sup_{Planta Primera} + Sup_{Planta Segunda} = 156.78 + 144.41 + 144.41 = 445.61 \text{ m}^2$$

Y por tanto, la ocupación sería:

$$Ocupación = \frac{Sup_{Total}}{Densidad de Ocupación} = \frac{445.61}{20} = 22.28 \rightarrow 22 \text{ personas}$$

2. Agua caliente sanitaria (ACS)

Para el cálculo de la demanda de ACS se hace uso del *Anejo F* del *DB - HE*.

Como se comentó anteriormente, es un bloque de seis viviendas, de las cuales tres cuentan con tres dormitorios, una con dos dormitorios, y dos con un único dormitorio.

Según la *Tabla a - Anejo F*, el valor mínimo de ocupación, para 1, 2 y 3 dormitorios, es de 1.5, 3 y 4 personas, respectivamente.

$$Nro. personas = 2 \text{ viv} \cdot 1.5 \frac{\text{per}}{\text{viv}} + 1 \text{ viv} \cdot 3 \frac{\text{per}}{\text{viv}} + 3 \text{ viv} \cdot 4 \frac{\text{per}}{\text{viv}} = 18 \text{ per}$$

Nota: la ocupación obtenida es inferior a la máxima estimada en la *Tabla 1*. Sin embargo, en el cálculo de la demanda de ACS se consideran 18 personas, ya que es el valor mínimo exigido por el *DB - HE*. Además, se tiene en cuenta que no todos los ocupantes harán uso cada día del volumen de ACS al completo.

Según la *Tabla b - Anejo F*, el factor de centralización, para un bloque de seis viviendas (dos por planta), es de 0.95.

$$\dot{m}_{ACS} (60^\circ C) = 28 \frac{\text{l}}{\text{día} \cdot \text{per}} \cdot 18 \text{ per} \cdot 0.95 = 478.80 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 0.48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La demanda de ACS mensual, en *kWh*, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$DEM_{ACS} (\text{kWh/mes}) = m_{ACS} \cdot Ce_W \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

Donde:

- m_{ACS} : masa de agua caliente demandada en cada mes, en m^3 .
- Ce_W : calor específico del agua, $1.16 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ C)$.
- T_{ACS} : temperatura media de servicio del agua caliente sanitaria. Se considera una temperatura de acumulación de $60^\circ C$.
- T_{AF} : temperatura diaria media mensual del agua fría de red. Se obtiene de la *Tabla a - Anejo G* del *DB - HE* (se utilizan los valores de la ciudad de Sevilla).

3. Factores de sombra del edificio

- Orientación noreste:

$$F_{s,inv}^{NE} = \frac{-11.99}{-14.5} = 0.83$$

$$F_{s,ver}^{NE} = \frac{11.72}{14.27} = 0.82$$

- Orientación noroeste:

$$F_{s,inv}^{NW} = \frac{-2.66}{-3.09} = 0.86$$

$$F_{s,ver}^{NW} = \frac{2.34}{2.78} = 0.84$$

- Orientación suroeste:

$$F_{s,inv}^{SW} = \frac{-54.23}{-55.44} = 0.98$$

$$F_{s,ver}^{SW} = \frac{29.14}{30.10} = 0.97$$

4. Cálculo del SCOP de la Bomba de Calor de la instalación convencional

A continuación se muestra el cálculo llevado a cabo para obtener el SCOP = SEER de la bomba de calor de la instalación convencional de partida, teniendo en cuenta que se ha de garantizar la renovabilidad del edificio (para edificios con un consumo inferior a 5000 L/día se corresponde con el 60% [5])

Se tienen los siguientes valores de demanda para el caso elegido como edificio de partida:

- Demanda de ACS Anual: 9015,94 kWh
- Demanda de Calefacción Anual: 7510,90 kWh
- Demanda de Refrigeración Anual: 6520,12 kWh

Teniendo en cuenta que el área acondicionada al edificio de tres plantas es: $3 \cdot 148,54 = 445,62 \text{ m}^2$, se tienen los siguientes valores de demanda en términos de kWh por superficie acondicionada:

- Demanda de ACS Anual: $20,23 \text{ kWh/m}^2$
- Demanda de Calefacción Anual: $16,85 \text{ kWh/m}^2$
- Demanda de Refrigeración Anual: $14,63 \text{ kWh/m}^2$

Tras conocer la demanda, se desgrena estos valores en según usos, sistemas y vectores energéticos a fin de conocer la energía final. Tras conocer la energía final, se convierte esta energía en energía primaria, total, renovable y no renovable, usando los siguientes factores de conversión recuperado de [1]:

Factores de conversión de energía final a primaria				
	Fuente	Valores aprobados		
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368
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
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113
Solar PV	ISO	1.	0.	1.
Solar térmica	ISO	1.	0.	1.
Eólica	ISO	1.	0.	1.
Medioambiente (aero-hidro-geotérmica)	ISO	1.	0.	1.

Tras obtener los valores de energía primaria renovables, se puede comprobar si el cálculo de la renovabilidad del HE4 se cumple. En este caso, para un SCOP = SEER = 4,56 se obtiene:

$$\%ACS \text{ cubierto} = \frac{Epr \text{ onsite}}{Demanda ACS} \cdot 100 = \frac{12,6}{20,6} \cdot 100 = 61,37 \% (> \text{mínimo } 60\%)$$

En las siguientes imágenes se pueden observar los cálculos efectuados.

Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final
Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7
			Medioambiente	0,78	13,2
Refrigeración	14,63	BdC	Electricidad de red	4,56	3,2
ACS 1	16,19	BdC	Electricidad de red	4,56	3,6
			Medioambiente	0,78	12,6
ACS 2	4,05	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	4,4

Uso	Vector energético	Energía final	f _{pnren}	f _{pren}	f _{ptot}	E _{pnr}	E _{pr distant}	E _{pr onsite}	E _{ptot}
Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2
	Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2
Refrigeración	Electricidad de red	3,2	1,954	0,414	2,368	6,3	0	0,0	6,3
ACS 1	Electricidad de red	3,6	1,954	0,414	2,368	6,9	1,47	0,0	8,4
	Medioambiente	12,6	0	1	1	0,0	0	12,6	12,6
ACS 2	Gas natural	4,4	1,190	0,005	1,195	5,2	0,02	0,0	5,3
						25,7			53,0

5. Mediciones para la realización de la gráfica del factor de utilización

Se muestran a continuación las mediciones que se hicieron para poder obtener la gráfica del factor de utilización frente a Oferta/Demanda, para unos volúmenes de 500 y 1000 litros respectivamente:

Caso de estudio	Oferta/ Demanda	Factor Utilización
-	0	1
<i>Abril 31,5m² / 500L</i>	0,89	0,92
<i>Abril 31,5m² / 500L</i>	1,34	0,64
<i>Mayo 31,5m² / 500L</i>	1,8	0,5
<i>Julio 31,5m² / 500L</i>	2,6	0,33

Caso de estudio	Oferta/ Demanda	Factor Utilización
-	0	1
<i>Abril 31,5m² / 1000L</i>	0,89	0,97
<i>Abril 31,5m² / 1000L</i>	1,34	0,67
<i>Mayo 31,5m² / 1000L</i>	1,8	0,5
<i>Julio 31,5m² / 1000L</i>	2,6	0,36

6. Resultados del Análisis de sensibilidad del falling-film en términos de energía disipada

Se presenta a continuación una gráfica adicional donde se dan los resultados obtenidos de la simulación del depósito de falling film para distintas combinaciones, en términos de energía disipada

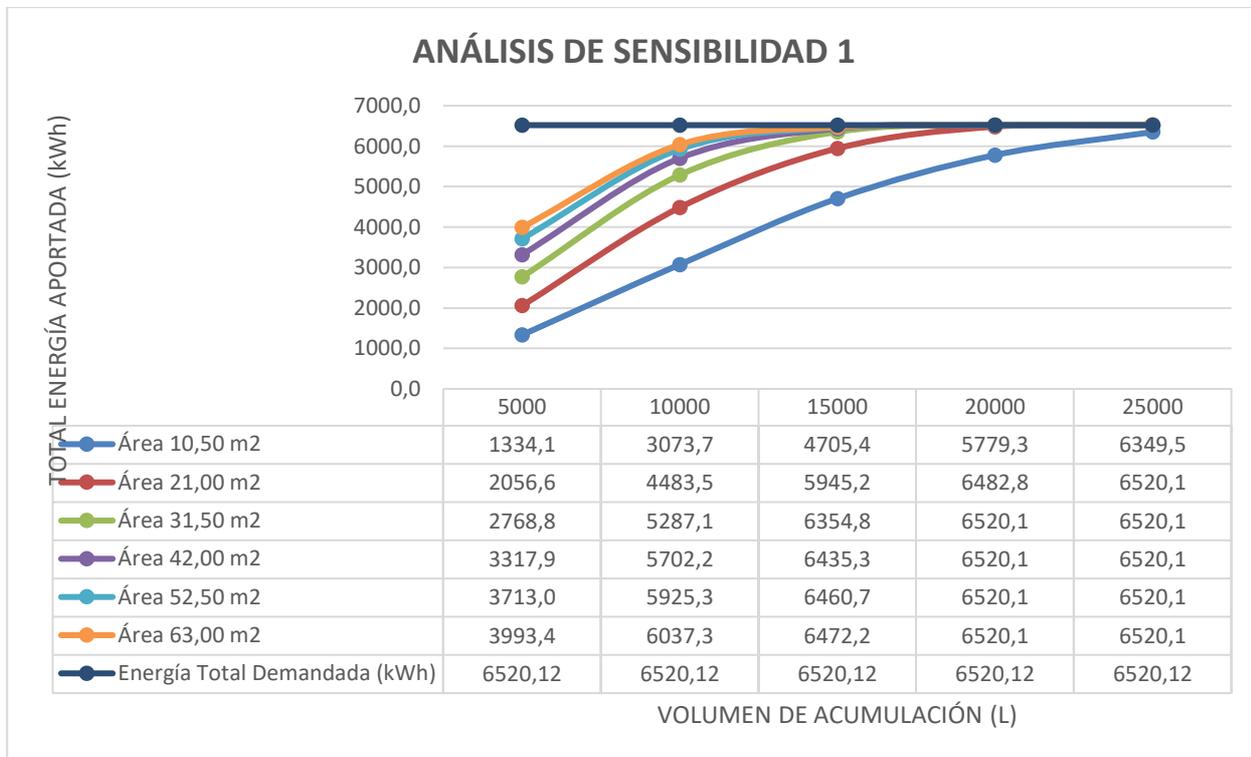


Figura 0-5. Análisis de sensibilidad de la energía disipada por *falling film* en función del volumen y el área.

7. Resultados de las distintas combinaciones de la simulación del depósito ACS

A continuación se muestran las distintas tablas de los resultados para cada una de las combinaciones de la simulación llevada a cabo en cuando al interacumulador del ACS.

Resultados para 10.5 m² y 500L

10.5m ² 500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	97,33	843,66	0,12	1,00	746,34	0,12
Febrero	118,17	762,02	0,16	1,00	643,89	0,16
Marzo	172,33	809,23	0,21	1,00	637,10	0,21
Abril	206,72	766,46	0,27	1,00	560,36	0,27
Mayo	261,48	757,58	0,35	0,99	498,07	0,34
Junio	286,88	683,15	0,42	0,98	400,67	0,41
Julio	299,24	671,49	0,45	0,98	377,90	0,44
Agosto	263,75	671,49	0,39	0,99	410,93	0,39
Septiembre	198,88	666,49	0,30	1,00	468,48	0,30
Octubre	152,34	757,58	0,20	1,00	605,38	0,20
Noviembre	105,03	783,13	0,13	1,00	678,12	0,13
Diciembre	88,07	843,43	0,10	1,00	755,37	0,10
Anual	2250,2172	9015,7045	-	-	6782,6051	24,8%

Resultados para 10.5 m2 y 1000L

10.5m2 1000L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	97,33	843,66	0,12	1,00	746,33	0,12
Febrero	118,17	762,02	0,16	1,00	643,85	0,16
Marzo	172,33	809,23	0,21	1,00	636,90	0,21
Abril	206,72	766,46	0,27	1,00	559,74	0,27
Mayo	261,48	757,58	0,35	1,00	496,09	0,35
Junio	286,88	683,15	0,42	1,00	396,28	0,42
Julio	299,24	671,49	0,45	1,00	372,26	0,45
Agosto	263,75	671,49	0,39	1,00	407,74	0,39
Septiembre	198,88	666,49	0,30	1,00	467,61	0,30
Octubre	152,34	757,58	0,20	1,00	605,23	0,20
Noviembre	105,03	783,13	0,13	1,00	678,10	0,13
Diciembre	88,07	843,43	0,10	1,00	755,37	0,10
Anual	2250,2172	9015,7045	-	-	6765,5024	24,9587%

Resultados para 10.5 m2 y 1500L

10.5m2 1500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	97,33	843,66	0,12	1,00	746,33	0,12
Febrero	118,17	762,02	0,16	1,00	643,85	0,16
Marzo	172,33	809,23	0,21	1,00	636,90	0,21
Abril	206,72	766,46	0,27	1,00	559,74	0,27
Mayo	261,48	757,58	0,35	1,00	496,09	0,35
Junio	286,88	683,15	0,42	1,00	396,27	0,42
Julio	299,24	671,49	0,45	1,00	372,25	0,45
Agosto	263,75	671,49	0,39	1,00	407,74	0,39
Septiembre	198,88	666,49	0,30	1,00	467,61	0,30
Octubre	152,34	757,58	0,20	1,00	605,23	0,20
Noviembre	105,03	783,13	0,13	1,00	678,10	0,13
Diciembre	88,07	843,43	0,10	1,00	755,37	0,10
Anual	2250,2172	9015,7045	-	-	6765,4875	24,9589%

Resultados para 21 m2 y 500L

21m2 500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	194,67	843,66	0,23	1,00	649,31	0,23
Febrero	236,35	762,02	0,31	0,99	526,87	0,31
Marzo	344,66	809,23	0,43	0,98	470,12	0,42
Abril	413,44	766,46	0,54	0,96	367,87	0,52
Mayo	522,96	757,58	0,69	0,92	274,58	0,64
Junio	573,76	683,15	0,84	0,87	183,41	0,73
Julio	598,47	671,49	0,89	0,85	162,11	0,76
Agosto	527,49	671,49	0,79	0,89	201,41	0,70
Septiembre	397,76	666,49	0,60	0,95	288,42	0,57
Octubre	304,68	757,58	0,40	0,99	456,90	0,40
Noviembre	210,06	783,13	0,27	1,00	573,68	0,27
Diciembre	176,13	843,43	0,21	1,00	667,49	0,21
Anual	4500,4345	9015,7045	-	-	4822,1769	46,5%

Resultados para 21 m2 y 1000L

21m2 1000L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	194,67	843,66	0,23	1,00	649,00	0,23
Febrero	236,35	762,02	0,31	1,00	525,67	0,31
Marzo	344,66	809,23	0,43	1,00	464,58	0,43
Abril	413,44	766,46	0,54	1,00	353,12	0,54
Mayo	522,96	757,58	0,69	1,00	236,39	0,69
Junio	573,76	683,15	0,84	0,98	121,54	0,82
Julio	598,47	671,49	0,89	0,97	93,47	0,86
Agosto	527,49	671,49	0,79	0,99	150,21	0,78
Septiembre	397,76	666,49	0,60	1,00	269,03	0,60
Octubre	304,68	757,58	0,40	1,00	452,90	0,40
Noviembre	210,06	783,13	0,27	1,00	573,07	0,27
Diciembre	176,13	843,43	0,21	1,00	667,30	0,21
Anual	4500,4345	9015,7045	-	-	4556,2540	49,5%

Resultados para 21 m2 y 1500L

21m2 1500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	194,67	843,66	0,23	1,00	649,00	0,23
Febrero	236,35	762,02	0,31	1,00	525,67	0,31
Marzo	344,66	809,23	0,43	1,00	464,57	0,43
Abril	413,44	766,46	0,54	1,00	353,03	0,54
Mayo	522,96	757,58	0,69	1,00	234,84	0,69
Junio	573,76	683,15	0,84	0,99	113,77	0,83
Julio	598,47	671,49	0,89	0,98	82,65	0,88
Agosto	527,49	671,49	0,79	1,00	145,61	0,78
Septiembre	397,76	666,49	0,60	1,00	268,75	0,60
Octubre	304,68	757,58	0,40	1,00	452,89	0,40
Noviembre	210,06	783,13	0,27	1,00	573,07	0,27
Diciembre	176,13	843,43	0,21	1,00	667,30	0,21
Anual	4500,4345	9015,7045	-	-	4531,1499	49,7%

Resultados para 31.5 m2 y 500L

31,5m2 500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	292,00	843,66	0,35	0,99	553,89	0,34
Febrero	354,52	762,02	0,47	0,98	415,26	0,46
Marzo	516,99	809,23	0,64	0,94	323,74	0,60
Abril	620,16	766,46	0,81	0,88	219,15	0,71
Mayo	784,45	757,58	1,04	0,79	135,23	0,82
Junio	860,63	683,15	1,26	0,71	76,39	0,89
Julio	897,71	671,49	1,34	0,68	64,16	0,90
Agosto	791,24	671,49	1,18	0,74	88,87	0,87
Septiembre	596,64	666,49	0,90	0,85	159,59	0,76
Octubre	457,03	757,58	0,60	0,95	323,95	0,57
Noviembre	315,09	783,13	0,40	0,99	472,19	0,40
Diciembre	264,20	843,43	0,31	0,99	580,62	0,31
Anual	6750,6517	9015,7045	-	-	3413,0385	62,1%

Resultados para 31.5 m2 y 1000L

31.5m2 1000L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	292,00	843,66	0,35	1,00	551,66	0,35
Febrero	354,52	762,02	0,47	1,00	407,51	0,47
Marzo	516,99	809,23	0,64	1,00	293,03	0,64
Abril	620,16	766,46	0,81	0,98	155,82	0,80
Mayo	784,45	757,58	1,04	0,91	46,00	0,94
Junio	860,63	683,15	1,26	0,78	8,84	0,99
Julio	897,71	671,49	1,34	0,74	5,01	0,99
Agosto	791,24	671,49	1,18	0,83	15,50	0,98
Septiembre	596,64	666,49	0,90	0,96	90,94	0,86
Octubre	457,03	757,58	0,60	1,00	300,93	0,60
Noviembre	315,09	783,13	0,40	1,00	468,04	0,40
Diciembre	264,20	843,43	0,31	1,00	579,24	0,31
Anual	6750,6517	9015,7045	-	-	2922,5142	67,6%

Resultados para 31.5 m2 y 1500L

31.5m2 1500L	Oferta mensual (kWh)	Demanda mensual (kWh)	Oferta / demanda (gamma)	Fu	Qaux=	%Cubierto
Enero	292,00	843,66	0,35	1,00	551,66	0,35
Febrero	354,52	762,02	0,47	1,00	407,50	0,47
Marzo	516,99	809,23	0,64	1,00	292,31	0,64
Abril	620,16	766,46	0,81	1,00	149,16	0,81
Mayo	784,45	757,58	1,04	0,93	29,31	0,96
Junio	860,63	683,15	1,26	0,79	2,41	1,00
Julio	897,71	671,49	1,34	0,75	1,01	1,00
Agosto	791,24	671,49	1,18	0,84	5,87	0,99
Septiembre	596,64	666,49	0,90	0,98	79,98	0,88
Octubre	457,03	757,58	0,60	1,00	300,58	0,60
Noviembre	315,09	783,13	0,40	1,00	468,04	0,40
Diciembre	264,20	843,43	0,31	1,00	579,24	0,31
Anual	6750,6517	9015,7045	-	-	2867,0583	68,2%

8. Cálculo de los costes de las instalaciones propuestas

A continuación se describe cómo se han obtenido los datos que aparecen en la Tabla 5-1.

Interacumulador ACS 500L

Se ha tomado los valores correspondientes al siguiente elemento del programa Generador de Precios :

ICS050 Ud Interacumulador de intercambio simple, para producción de A.C.S. 2.659,60€

Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 500 l, altura 1720 mm, diámetro 800 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario	Importe	Importe
1		Materiales			
mt38csg050j2	Ud	Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 500 l, altura 1720 mm, diámetro 800 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC.	1,000	2.500,00	2.500,00
mt37svs010c	Ud	Válvula de seguridad, de latón, con rosca de 1/2" de diámetro, tarada a 6 bar de presión.	1,000	4,42	4,42
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt37sve010d	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
Subtotal materiales:					2.563,73

Código	Unidad	Descripción	Precio	
			Rendimiento unitario	Importe
2		Mano de obra		
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	1,000	22,74
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,000	20,98
			Subtotal mano de obra:	43,72
3		Costes directos complementarios		
	%	Costes directos complementarios	2,000	2.607,45
Coste de mantenimiento decenal: 558,52€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):	2.659,60

Interacumulador ACS 1000L

Se ha tomado los valores correspondientes al siguiente elemento del programa Generador de Precios:

ICS050 Ud Interacumulador de intercambio simple, para producción de A.C.S. 5.287,45€

Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 1000 l, altura 2280 mm, diámetro 1050 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Código	Unidad	Descripción	Precio	
			Rendimiento unitario	Importe
1		Materiales		
mt38csg050t2	Ud	Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 1000 l, altura 2280 mm, diámetro 1050 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC.	1,000	5.000,00
mt37svs010c	Ud	Válvula de seguridad, de latón, con rosca de 1/2" de diámetro, tarada a 6 bar de presión.	1,000	4,42
mt37sve010g	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 2".	2,000	39,38
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45
			Subtotal materiales:	5.118,19
2		Mano de obra		
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	1,500	22,74
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,500	20,98
			Subtotal mano de obra:	65,58
3		Costes directos complementarios		
	%	Costes directos complementarios	2,000	5.183,77
Coste de mantenimiento decenal: 1.110,36€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):	5.287,45

Interacumulador ACS 1500L

Se ha tomado los valores correspondientes al siguiente elemento del programa Generador de Precios:

ICS050 Ud Interacumulador de intercambio simple, para producción de A.C.S. 7.850,82€

Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 1500 l, altura 2280 mm, diámetro 1200 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario	Importe	
1		Materiales			
mt38csg050x2	Ud	Interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 1500 l, altura 2280 mm, diámetro 1200 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC.	1,000	7.500,00	7.500,00
mt37svs010c	Ud	Válvula de seguridad, de latón, con rosca de 1/2" de diámetro, tarada a 6 bar de presión.	1,000	4,42	4,42
mt37sve010g	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 2".	2,000	39,38	78,76
mt37sve010e	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	2,000	16,78	33,56
mt38www011	Ud	Material auxiliar para instalaciones de A.C.S.	1,000	1,45	1,45
Subtotal materiales:					7.618,19
2		Mano de obra			
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	1,800	22,74	40,93
mo103	h	Ayudante calefactor.	1,800	20,98	37,76
Subtotal mano de obra:					78,69
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	7.696,88	153,94
Coste de mantenimiento decenal: 1.648,67€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		7.850,82

Instalación fotovoltaica (15 módulos)

Se ha tomado los valores correspondientes al siguiente modulo fotovoltaico, que es el más parecido que se ha encontrado en el programa Generador de Precios al usado en los cálculos fotovoltaicos y se ha multiplicado por 15, número de módulos:

IEF001 Ud Módulo solar fotovoltaico. 117,61€

Módulo solar fotovoltaico de células de silicio policristalino, potencia máxima (Wp) 260 W, tensión a máxima potencia (Vmp) 29,7 V, intensidad a máxima potencia (Imp) 8,76 A, tensión en circuito abierto (Voc) 36,22 V, intensidad de cortocircuito (Isc) 9,21 A, eficiencia 17,7%, 54 células de 156x156 mm, vidrio exterior templado de 3,2 mm de espesor, capa adhesiva de etilvinilacetato (EVA), capa posterior de polifluoruro de vinilo, poliéster y polifluoruro de vinilo (TPT), marco de aluminio anodizado, temperatura de trabajo -40°C hasta 85°C, dimensiones 1482x992x35 mm, resistencia a la carga del viento 245 kg/m², resistencia a la carga de la nieve 551 kg/m², peso 16,4 kg, con caja de conexiones con diodos, cables y conectores. Incluso accesorios de montaje y material de conexionado eléctrico. El precio no incluye la estructura soporte.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario	Importe	
1		Materiales			
mt35sol045all	Ud	Módulo solar fotovoltaico de células de silicio policristalino, potencia máxima (Wp) 260 W, tensión a máxima potencia (Vmp) 29,7 V, intensidad a máxima potencia (Imp) 8,76 A, tensión en circuito abierto (Voc) 36,22 V, intensidad de cortocircuito (Isc) 9,21 A, eficiencia 17,7%, 54 células de 156x156 mm, vidrio exterior templado de 3,2 mm de espesor, capa adhesiva de etilvinilacetato (EVA), capa posterior de polifluoruro de vinilo, poliéster y polifluoruro de vinilo (TPT), marco de aluminio anodizado, temperatura de trabajo -40°C hasta 85°C, dimensiones 1482x992x35 mm, resistencia a la carga del viento 245 kg/m², resistencia a la carga de la nieve 551 kg/m², peso 16,4 kg, con caja de conexiones con diodos, cables y conectores.	1,000	100,88	100,88
				Subtotal materiales:	100,88
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,330	22,74	7,50
mo102	h	Ayudante electricista.	0,330	20,98	6,92
				Subtotal mano de obra:	14,42
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	115,30	2,31
Coste de mantenimiento decenal: 17,64€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		117,61

Además, a este coste se le ha sumado el coste correspondiente a los soportes de los módulos fotovoltaicos (15 unidades):

IEF002 Ud Estructura soporte para módulo solar fotovoltaico, sobre cubierta plana. 82,56€

Estructura soporte para módulo solar fotovoltaico, de acero galvanizado, sobre cubierta plana. Incluso accesorios de montaje y elementos de fijación.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario	Importe	
1		Materiales			
mt35sol005	Ud	Estructura soporte para módulo solar fotovoltaico, de acero galvanizado, para cubierta plana, con accesorios de montaje y elementos de fijación.	1,000	70,00	70,00
				Subtotal materiales:	70,00
2		Mano de obra			
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,250	22,74	5,69
mo102	h	Ayudante electricista.	0,250	20,98	5,25
				Subtotal mano de obra:	10,94
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	80,94	1,62
Coste de mantenimiento decenal: 9,91€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		82,56

Depósito de Inercia para el agua de refrigeración del falling film (5000 L)

Se ha tomado los valores correspondientes al siguiente elemento del programa Generador de Precios:

ICS065 Ud Acumulador para calefacción y climatización. 7.253,94€

Acumulador de inercia, de acero negro, 5000 l, altura 2750 mm, diámetro 1910 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, con termómetros, termostato, boca lateral DN 400. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario		Importe
1		Materiales			
mt38aci010T	Ud	Acumulador de inercia, de acero negro, 5000 l, altura 2750 mm, diámetro 1910 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, con termómetros, termostato, boca lateral DN 400.	1,000	6.274,00	6.274,00
mt37sve010j	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 4".	4,000	177,31	709,24
mt38www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción.	1,000	1,68	1,68
Subtotal materiales:					6.984,92
2		Mano de obra			
mo004	h	Oficial 1º calefactor.	2,900	22,74	65,95
mo103	h	Ayudante calefactor.	2,900	20,98	60,84
Subtotal mano de obra:					126,79
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	7.111,71	142,23
Coste de mantenimiento decenal: 1.523,33€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		7.253,94

Depósito de Inercia para el agua de refrigeración del falling film (10000 L)

Para su cálculo se ha tenido en cuenta la relación entre el aumento que ha supuesto el paso del siguiente depósito de 2500L frente al depósito de 5000L anterior:

ICS065 Ud Acumulador para calefacción y climatización. 4.515,00€

Acumulador de inercia, de acero negro, 2500 l, altura 2035 mm, diámetro 1660 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, con termómetros, termostato, boca lateral DN 400. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento unitario		Importe
1		Materiales			
mt38aci010M	Ud	Acumulador de inercia, de acero negro, 2500 l, altura 2035 mm, diámetro 1660 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, con termómetros, termostato, boca lateral DN 400.	1,000	3.615,00	3.615,00

Código	Unidad	Descripción	Precio		
			Rendimiento	unitario	Importe
mt37sve010j	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 4".	4,000	177,31	709,24
mt38www010	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción.	1,000	1,68	1,68
Subtotal materiales:					4.325,92
2 Mano de obra					
mo004	h	Oficial 1ª calefactor.	2,300	22,74	52,30
mo103	h	Ayudante calefactor.	2,300	20,98	48,25
Subtotal mano de obra:					100,55
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	4.426,47	88,53
Coste de mantenimiento decenal: 948,15€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		4.515,00

El paso de 2500L a 5000 L (doble de capacidad) ha incrementado el coste del depósito en 7253,94 / 4515,00 = 1,61, por tanto para el cálculo de los costes del depósito de 10000L se utiliza esta relación proporcionalmente.

$$SCI(10000 L) = SCI(5000L) \cdot 1,61 = 11654,41 \text{ €}$$

$$Mantenimiento(10000 L) = Mantenimiento(5000L) \cdot 1,61 = 152,34 \text{ €}$$

Depósito de Inercia para el agua de refrigeración del falling film (10000 L)

Para su cálculo se ha tenido en cuenta la relación calculada en el apartado anterior. Así:

$$SCI(15000 L) = SCI(10000L) \cdot 1,61 = 18724,33 \text{ €}$$

$$Mantenimiento(15000 L) = Mantenimiento(10000L) \cdot 1,61 = 244,76 \text{ €}$$

9. Cálculo del HE0 y HE4 de las instalaciones propuestas

A continuación se presentan el cálculo con el que se ha obtenido tanto los valores de Energía Primaria No Renovable y Energía Primaria Total que determinan el cumplimiento del HE0 como los valores de porcentaje de ACS cubierto por renovables, los cuales para una demanda menor de 5000 L/día, ha de contar con un mínimo de 60% cubierto. Se puede observar el cumplimiento de ambas restricciones, tal y como se indica en el correspondiente apartado de resultados.

CASO 1	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético	Energía final	f _{pnren}	f _{pren}	f _{ptot}	E _{pnr}	E _{pr distant}	E _{pr onsite}	E _{ptot}
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2
Volumen ACS				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2
500	Refrigeración 1	8,42	BdC	Electricidad de red	4,56	1,8	Refrigeración 1	Electricidad de red	1,8	1,954	0,414	2,368	3,6	0	0,0	3,6
Depósito Acumulación 5000	Refrigeración 2	6,21	Falling-film	Medioambiente	1,00	6,2	Refrigeración 2	Medioambiente	6,2	0	1	1	0,0	0	6,2	6,2
	ACS 1	12,57	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	12,6	ACS 1	Medioambiente	12,6	0	1	1	0,0	0,00	12,6	12,6
	ACS 2	7,66	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	8,3	ACS 2	Gas natural	8,3	1,190	0,005	1,195	9,9	0,04	0,0	9,9
													20,7			52,7
													Límites HE0	55		80
													Dif. Con Convencional	-5,0	-19,27%	-0,3
										ACS	20,9					
										Epr on site ACS	12,6					
										HE4 (% ACS Cubierto)	60,16%					

CASO 2	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético	Energía final	fpnren	fpren	fpot	Eprn	Epr distant	Epr onsite	Epot	
																	Area 31,5 m2
Volumen ACS	Medioambiente	0,78	13,2	Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2					
500	Refrigeración 1	2,77	BdC	Electricidad de red	4,56	0,6	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,6	1,954	0,414	2,368	1,2	0	0,0	1,2	
Depósito Acumulación 10000	Refrigeración 2	11,86	Falling-film	Medioambiente	1,00	11,9	Refrigeración 2	Medioambiente	11,9	0	1	1	0,0	0	11,9	11,9	
	ACS 1	12,57	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	12,6	ACS 1	Medioambiente	12,6	0	1	1	0,0	0,00	12,6	12,6	
	ACS 2	7,66	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	8,3	ACS 2	Gas natural	8,3	1,190	0,005	1,195	9,9	0,04	0,0	9,9	
													18,3			56,0	
													Límites HEO	55		80	
													Dif. Con Convencional	-7,4	-28,70%		3,0
										ACS	20,9						
										Epr on site ACS	12,6						
										HE4 (% ACS Cubierto)	60,16%						

CASO 3	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético	Energía final	fpnren	fpren	fpot	Eprn	Epr distant	Epr onsite	Epot	
																	Area 31,5 m2
Volumen ACS	Medioambiente	0,78	13,2	Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2					
500	Refrigeración 1	0,37	BdC	Electricidad de red	4,56	0,1	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,1	1,954	0,414	2,368	0,2	0	0,0	0,2	
Depósito Acumulación 15000	Refrigeración 2	14,26	Falling-film	Medioambiente	1,00	14,3	Refrigeración 2	Medioambiente	14,3	0	1	1	0,0	0	14,3	14,3	
	ACS 1	12,57	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	12,6	ACS 1	Medioambiente	12,6	0	1	1	0,0	0,00	12,6	12,6	
	ACS 2	7,66	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	8,3	ACS 2	Gas natural	8,3	1,190	0,005	1,195	9,9	0,04	0,0	9,9	
													17,3			57,3	
													Límites HEO	55		80	
													Dif. Con Convencional	-8,4	-32,70%		4,3
										ACS	20,9						
										Epr on site ACS	12,6						
										HE4 (% ACS Cubierto)	60,16%						

CASO 4	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético		Energía final	fpnren	fpren	fptot	Eprn	Epr distant	Epr onsite	Eptot
								Vector energético	Energía final								
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2	
Volumen ACS																	
1000	Refrigeración 1	8,42	BdC	Electricidad de red	4,56	1,8	Refrigeración 1	Electricidad de red	1,8	1,954	0,414	2,368	3,6	0	0,0	3,6	
Depósito Acumulación 5000	Refrigeración 2	6,21	Falling-film	Medioambiente	1,00	6,2	Refrigeración 2	Medioambiente	6,2	0	1	1	0,0	0	6,2	6,2	
	ACS 1	13,67	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,7	ACS 1	Medioambiente	13,7	0	1	1	0,0	0,00	13,7	13,7	
	ACS 2	6,56	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,1	ACS 2	Gas natural	7,1	1,190	0,005	1,195	8,5	0,04	0,0	8,5	
													19,3			52,4	
													Límites HEO	55		80	
													Dif. Con Convencional	-6,4	-24,81%	-0,6	
													ACS				
													Epr on site ACS				
													HE4 (% ACS Cubierto)			65,73%	

CASO 5	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético		Energía final	fpnren	fpren	fptot	Eprn	Epr distant	Epr onsite	Eptot
								Vector energético	Energía final								
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2	
Volumen ACS																	
1000	Refrigeración 1	2,77	BdC	Electricidad de red	4,56	0,6	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,6	1,954	0,414	2,368	1,2	0	0,0	1,2	
Depósito Acumulación 10000	Refrigeración 2	11,86	Falling-film	Medioambiente	1,00	11,9	Refrigeración 2	Medioambiente	11,9	0	1	1	0,0	0	11,9	11,9	
	ACS 1	13,67	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,7	ACS 1	Medioambiente	13,7	0	1	1	0,0	0,00	13,7	13,7	
	ACS 2	6,56	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,1	ACS 2	Gas natural	7,1	1,190	0,005	1,195	8,5	0,04	0,0	8,5	
													16,9			55,6	
													Límites HEO	55		80	
													Dif. Con Convencional	-8,8	-34,24%	2,6	
													ACS				
													Epr on site ACS				
													HE4 (% ACS Cubierto)			65,73%	

CASO 6	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético		Energía final	fpnren	fpren	fptot	Epnr	Epr distant	Epr onsite	Eptot	
								Electricidad de red	Medioambiente									
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
Volumen ACS				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2		
1000	Refrigeración 1	0,37	BdC	Electricidad de red	4,56	0,1	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,1	0,1	1,954	0,414	2,368	0,2	0	0,0	0,2	
Depósito Acumulación 15000	Refrigeración 2	14,26	Falling-film	Medioambiente	1,00	14,3	Refrigeración 2	Medioambiente	14,3	0	1	1	0,0	0	14,3	14,3		
	ACS 1	13,67	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,7	ACS 1	Medioambiente	13,7	0	1	1	0,0	0,00	13,7	13,7		
	ACS 2	6,56	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,1	ACS 2	Gas natural	7,1	1,190	0,005	1,195	8,5	0,04	0,0	8,5		
														15,9			57,0	
														Límites HEO	55			80
														Dif. Con Convencional	-9,8	-38,24%		4,0
											ACS	20,8						
											Epr on site ACS	13,7						
											HE4 (% ACS Cubierto)	65,73%						

CASO 7	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Uso	Vector energético		Energía final	fpnren	fpren	fptot	Epnr	Epr distant	Epr onsite	Eptot	
								Electricidad de red	Medioambiente									
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
Volumen ACS				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2		
1500	Refrigeración 1	8,42	BdC	Electricidad de red	4,56	1,8	Refrigeración 1	Electricidad de red	1,8	1,8	1,954	0,414	2,368	3,6	0	0,0	3,6	
Depósito Acumulación 5000	Refrigeración 2	6,21	Falling-film	Medioambiente	1,00	6,2	Refrigeración 2	Medioambiente	6,2	0	1	1	0,0	0	6,2	6,2		
	ACS 1	13,80	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,8	ACS 1	Medioambiente	13,8	0	1	1	0,0	0,00	13,8	13,8		
	ACS 2	6,43	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,0	ACS 2	Gas natural	7,0	1,190	0,005	1,195	8,3	0,03	0,0	8,4		
														19,2			52,4	
														Límites HEO	55			80
														Dif. Con Convencional	-6,5	-25,44%		-0,6
											ACS	20,8						
											Epr on site ACS	13,8						
											HE4 (% ACS Cubierto)	66,36%						

CASO 8	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Vector energético		Energía final	f _{pnren}	f _{pren}	f _{ptot}	E _{pnr}	E _{pr distant}	E _{pr onsite}	E _{ptot}	
							Uso	Vector energético									
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
Volumen ACS				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2	
1500	Refrigeración 1	2,77	BdC	Electricidad de red	4,56	0,6	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,6	1,954	0,414	2,368	1,2	0	0,0	1,2	
Depósito Acumulación 10000	Refrigeración 2	11,86	Falling-film	Medioambiente	1,00	11,9	Refrigeración 2	Medioambiente	11,9	0	1	1	0,0	0	11,9	11,9	
	ACS 1	13,80	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,8	ACS 1	Medioambiente	13,8	0	1	1	0,0	0,00	13,8	13,8	
	ACS 2	6,43	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,0	ACS 2	Gas natural	7,0	1,190	0,005	1,195	8,3	0,03	0,0	8,4	
												16,7			55,6		
												Límites HEO	55			80	
												Dif. Con Convencional	-9,0		-34,87%		2,6
										ACS	20,8						
										Epr on site ACS	13,8						
										HE4 (% ACS Cubierto)	66,36%						

CASO 9	Uso	Demanda	Sistema	Vector energético	Rendimiento medio estacional	Energía final	Vector energético		Energía final	f _{pnren}	f _{pren}	f _{ptot}	E _{pnr}	E _{pr distant}	E _{pr onsite}	E _{ptot}	
							Uso	Vector energético									
Area 31,5 m2	Calefacción	16,85	BdC	Electricidad de red	4,56	3,7	Calefacción	Electricidad de red	3,7	1,954	0,414	2,368	7,2	0	0,0	7,2	
Volumen ACS				Medioambiente	0,78	13,2		Medioambiente	13,2	0	1	1	0,0	0	13,2	13,2	
1500	Refrigeración 1	0,37	BdC	Electricidad de red	4,56	0,1	Refrigeración 1	Electricidad de red	0,1	1,954	0,414	2,368	0,2	0	0,0	0,2	
Depósito Acumulación 15000	Refrigeración 2	14,26	Falling-film	Medioambiente	1,00	14,3	Refrigeración 2	Medioambiente	14,3	0	1	1	0,0	0	14,3	14,3	
	ACS 1	13,80	Generación fotovoltaica	Medioambiente	1,00	13,8	ACS 1	Medioambiente	13,8	0	1	1	0,0	0,00	13,8	13,8	
	ACS 2	6,43	Caldera de gas natural	Gas natural	0,92	7,0	ACS 2	Gas natural	7,0	1,190	0,005	1,195	8,3	0,03	0,0	8,4	
												15,7			57,0		
												Límites HEO	55			80	
												Dif. Con Convencional	-10,0		-38,87%		4,0
										ACS	20,8						
										Epr on site ACS	13,8						
										HE4 (% ACS Cubierto)	66,36%						

10. Cálculo del Coste del Ciclo de Vida de cada solución planteada

A continuación se muestra en tabla los cálculos para la obtención del Coste del Ciclo de Vida, con los distintos términos económicos que lo engloban y distinguiendo entre CCV sin subvencionar y CCV subvencionado.

El índice de inflación considerado ha sido de 0,03 y el sumatorio para (n=20 años considerados) obtenido es de 14,88.

Area de captación (m2)	Volumen Acumulación ACS (L)	Volumen acumulación Falling-film (L)	Sobrecoste inicial	Coste mantenimiento anual	Coste operación	Ganancia operación	COP & M	CCV sin subvención	Epnr (kWh/m2)	% reduccion	Subvención	Ept (kWh/m2)	Sobrecoste inicial con subvención	CCV (con subvención)	Ahorro por subvención
31,5	500	5000	12.916,09 €	192,00 €	706,38 €	-37,95 €	860,43 €	25.717,11 €	20,7	-19,46%	0	52,7	12.916,09 €	25.717,11 €	0,00 €
31,5	500	10000	17.316,56 €	249,52 €	573,84 €	-37,95 €	785,41 €	29.001,46 €	18,3	-28,79%	0	56	17.316,56 €	29.001,46 €	0,00 €
31,5	500	15000	24.386,48 €	341,93 €	517,65 €	-37,95 €	821,63 €	36.610,25 €	17,3	-32,68%	1	57,3	14.631,89 €	26.855,66 €	9.754,59 €
31,5	1000	5000	15.543,94 €	247,18 €	659,36 €	-24,59 €	881,95 €	28.665,16 €	19,3	-24,90%	0	52,4	15.543,94 €	28.665,16 €	0,00 €
31,5	1000	10000	19.944,41 €	304,70 €	526,82 €	-24,59 €	806,93 €	31.949,50 €	16,9	-34,24%	1	55,6	11.966,64 €	23.971,74 €	7.977,76 €
31,5	1000	15000	27.014,33 €	397,12 €	470,63 €	-24,59 €	843,15 €	39.558,29 €	15,9	-38,13%	1	57	16.208,60 €	28.752,56 €	10.805,73 €
31,5	1500	5000	18.107,31 €	301,01 €	638,86 €	-18,57 €	921,30 €	31.813,97 €	19,2	-25,29%	0	52,4	18.107,31 €	31.813,97 €	0,00 €
31,5	1500	10000	22.507,78 €	358,53 €	506,32 €	-18,57 €	846,28 €	35.098,31 €	16,7	-35,02%	1	55,6	13.504,67 €	26.095,20 €	9.003,11 €
31,5	1500	15000	29.577,70 €	450,95 €	450,12 €	-18,57 €	882,50 €	42.707,11 €	15,7	-38,91%	1	57	17.746,62 €	30.876,03 €	11.831,08 €

ANEXO C – PLANOS

A continuación se adjunta por un lugar el plano complete del edificio objeto de estudio y planos adicionales con esquemas de funcionamiento de las instalaciones, de elaboración propia.



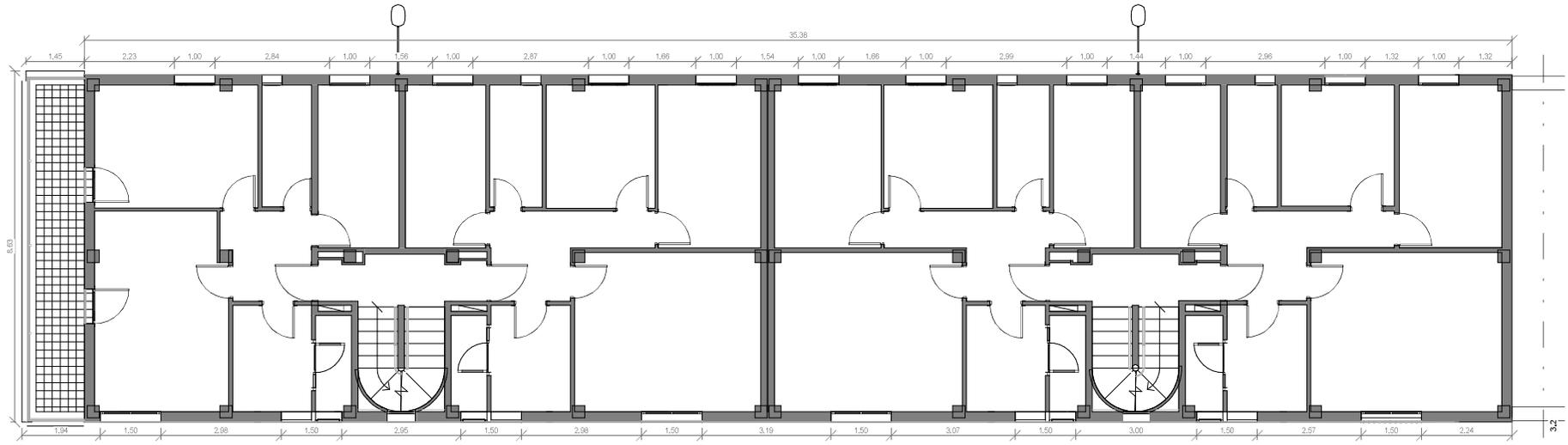
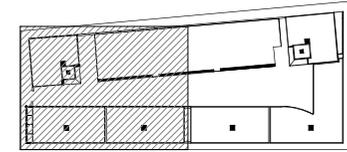
	Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA C/ San Gregorio, 7 41004 Sevilla Tlf: 955 95 78 00 Fax 955 93 83 04	FECHA DICIEMBRE 2019	ORIENTACIÓN 	ESCALA 1:100	PROYECTISTAS MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)	TÍTULO DEL PROYECTO PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073	PLANO Estado actual. Planta Baja. Sector I	N° 2.1
--	---	--	--------------------------------	-----------------	---------------------	--	---	--	------------------

Código Seguro de verificación: N°QcU1LTPAv1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
 Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	361/404



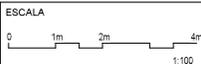
N°QcU1LTPAv1rM1JunU/MA==



Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía
**CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS
 Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
 C/ San Gregorio, 7
 41004 Sevilla
 Tlf: 955 05 70 00 Fax 955 03 03 04

FECHA
**DICIEMBRE
 2019**



PROYECTISTAS
MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)

TÍTULO DEL PROYECTO
**PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE
 EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073**

PLANO
**Estado actual. Planta Primera,
 Sector I**

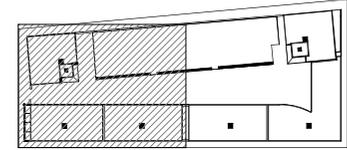
Nº
3.1

Código Seguro de verificación: N°QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
 Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

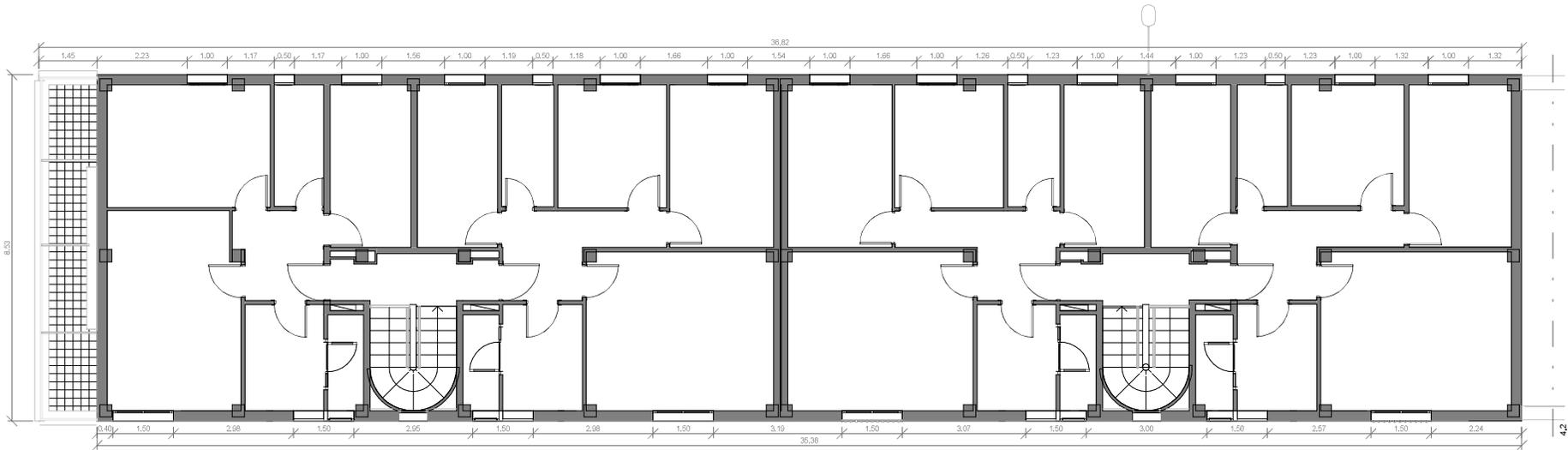
FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	364/404



N°QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==



4.3



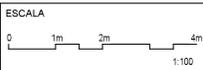
4.4



Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía
**CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
C/ San Gregorio, 7
41004 Sevilla
Tlf: 955 95 78 00 Fax 955 93 93 04

FECHA
**DICIEMBRE
2019**



PROYECTISTAS
MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)

TÍTULO DEL PROYECTO
**PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE
EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073**

PLANO
**Estado actual. Planta Segunda.
Sector I**

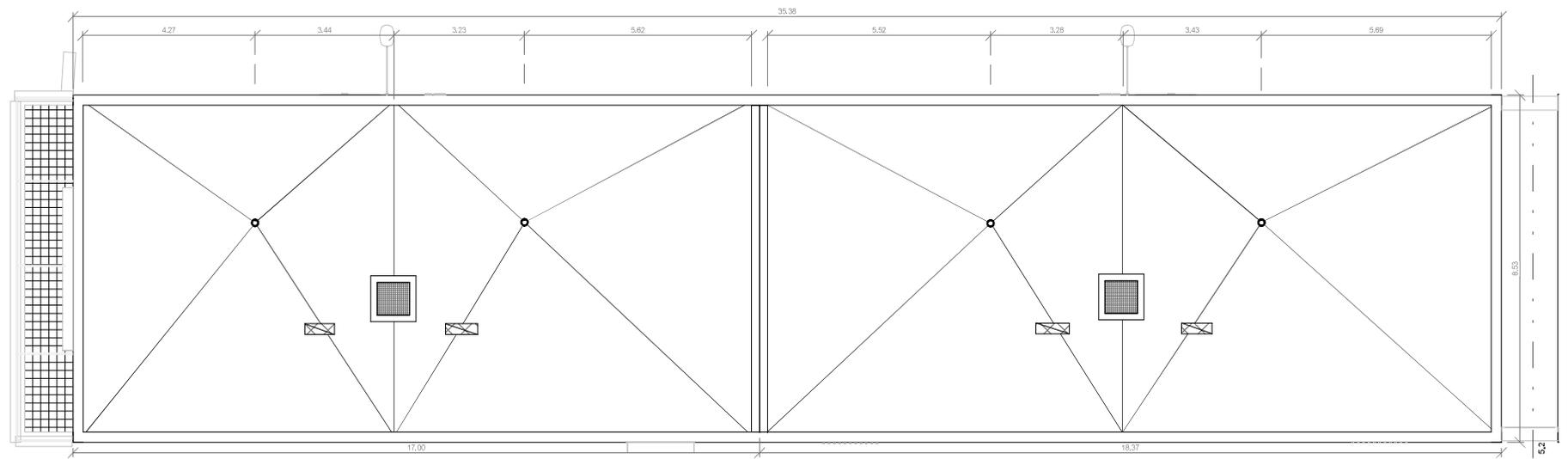
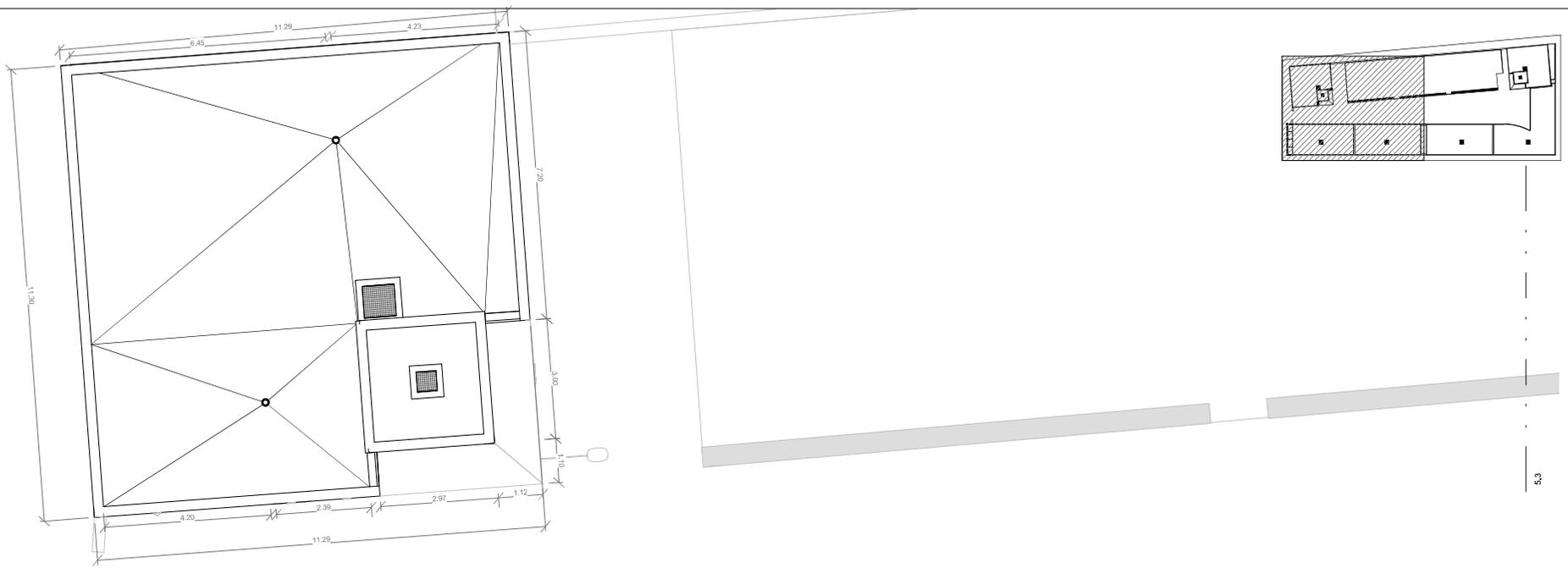
Nº
4.1

Código Seguro de verificación: NrqcU1LTPAV1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	367/404



NrqcU1LTPAV1rM1JunU/MA==



	Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA C/ San Gregorio, 7 41004 Sevilla Tlf: 955 05 70 00 Fax 955 03 83 04	FECHA DICIEMBRE 2019	ORIENTACIÓN 	ESCALA 	PROYECTISTAS MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)	TÍTULO DEL PROYECTO PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073	PLANO Estado actual. Cubiertas. Sector I	Nº 5.1
--	---	--	--------------------------------	-----------------	------------	--	---	--	------------------

Código Seguro de verificación: N°QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
 Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	370/404



N°QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==



1 Fachada Exterior Sur
6.1 1 : 100

LEYENDA:

- SUECIÓN ANTENA
- REJILLA VENTILACIÓN EN COCINAS Y LAVADEROS
- UNIDADES EXTERIORES DE AIRE ACONDICIONADO
- TOLDO

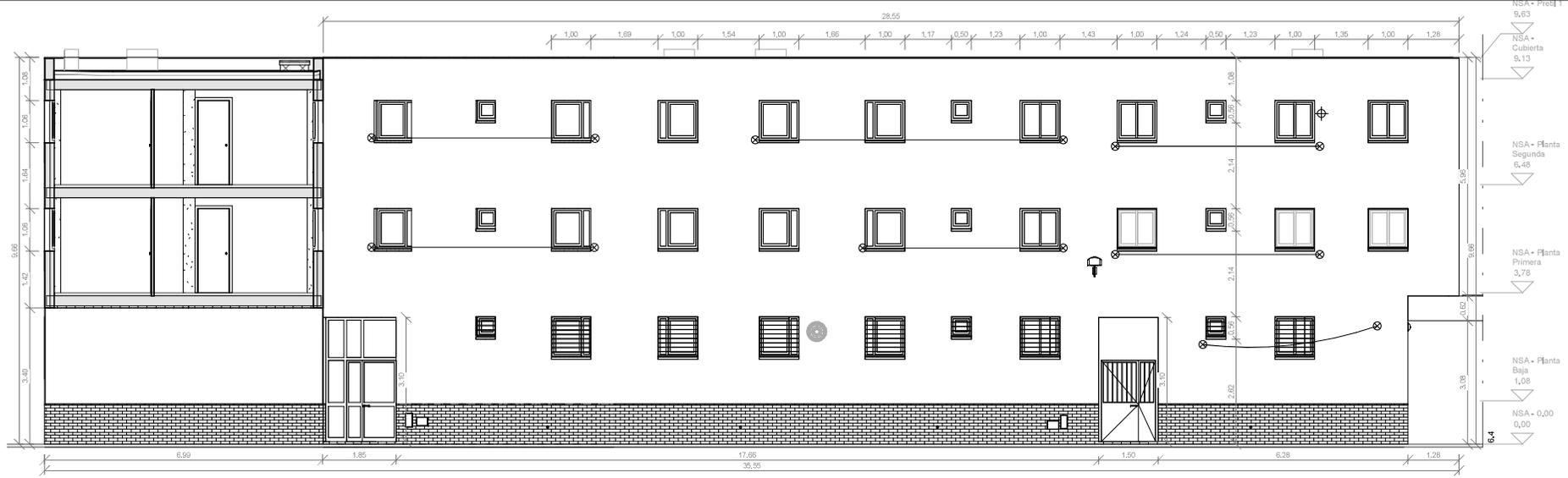
	Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA C/ San Gregorio, 7 41004 Sevilla Tlf: 955 95 70 00 Fax 955 93 83 04	FECHA DICIEMBRE 2019	ORIENTACIÓN 	ESCALA 	PROYECTISTAS MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)	TÍTULO DEL PROYECTO PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073	PLANO Estado actual. Alzados y secciones	6.1
--	---	--	--------------------------------	-----------------	------------	--	---	--	------------

Código Seguro de verificación: N°QcU1LTPAv1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
 Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

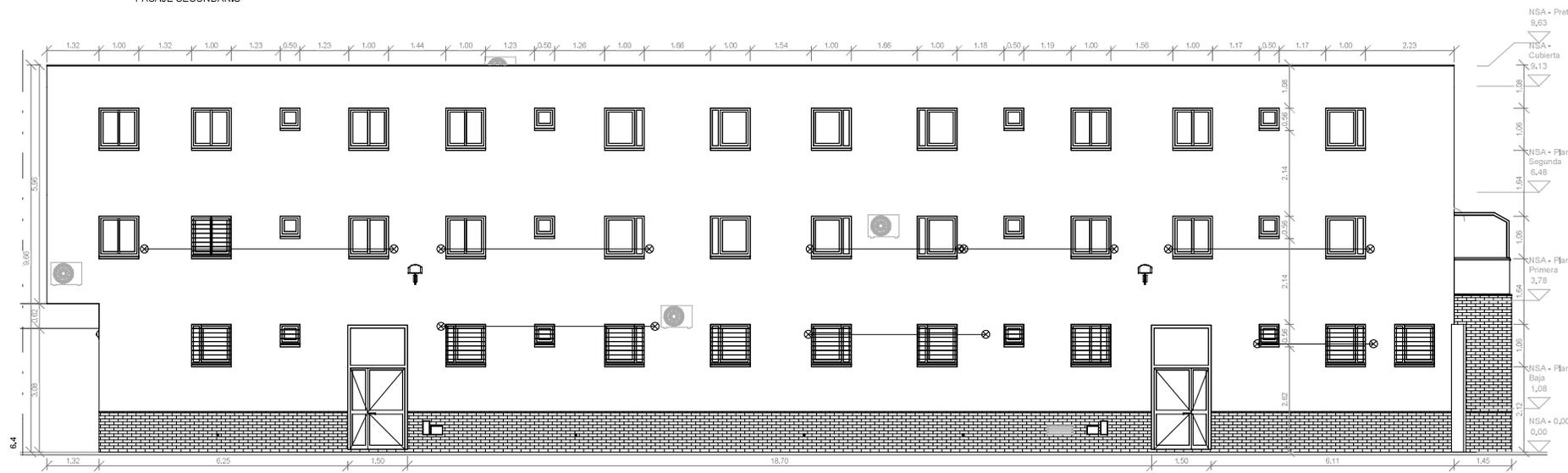
FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	373/404



N°QcU1LTPAv1rM1JunU/MA==



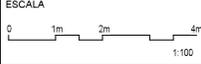
PASAJE SECUNDARIO



1 Fachada Patio Norte
6.4 1 : 100

LEYENDA:

- SITUACIÓN ANTENA
- REJILLA VENTILACIÓN EN COCINAS Y LAVADEROS
- SOPORTE TENEDERO
- UNIDADES EXTERIORES DE AIRE ACONDICIONADO

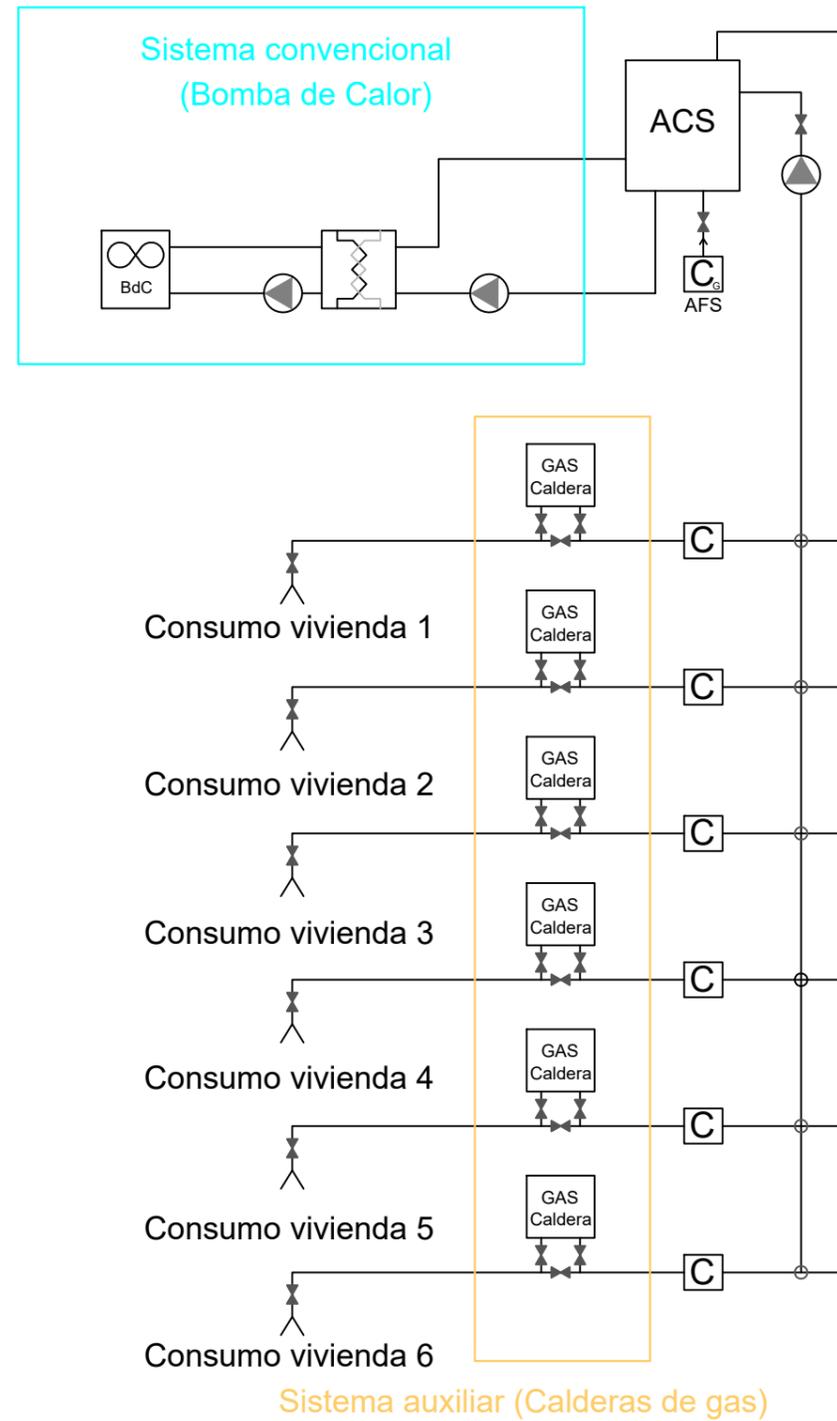
	Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía CONSEJERÍA DE FOMENTO, INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA C/ San Gregorio, 7 41004 Sevilla Tlf: 955 95 78 00 Fax 955 93 83 04	FECHA DICIEMBRE 2019	ORIENTACIÓN 	ESCALA 	PROYECTISTAS MARTA HERNÁNDEZ DE LA OBRA (ARQUITECTA)	TÍTULO DEL PROYECTO PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y REPARACIONES PARCIALES DE EDIFICIO DE 36 VPP EN NÚCLEO GUADALQUIVIR, CAMAS (SEVILLA), SE-7073	PLANO Estado actual. Alzados y secciones	N° 6.4
---	---	--	--------------------------------	--	--	--	---	--	-------------------------

Código Seguro de verificación: N° QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==. Permite la verificación de la integridad de una copia de este documento electrónico en la dirección: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/verifirma>
 Este documento incorpora firma electrónica reconocida de acuerdo a la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

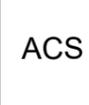
FIRMADO POR	MARTA HERNANDEZ DE LA OBRA	FECHA	20/05/2020
ID. FIRMA	ws051.juntadeandalucia.es	PÁGINA	376/404



N° QcU1LTPAV1rM1JunU/MA==



LEYENDA:

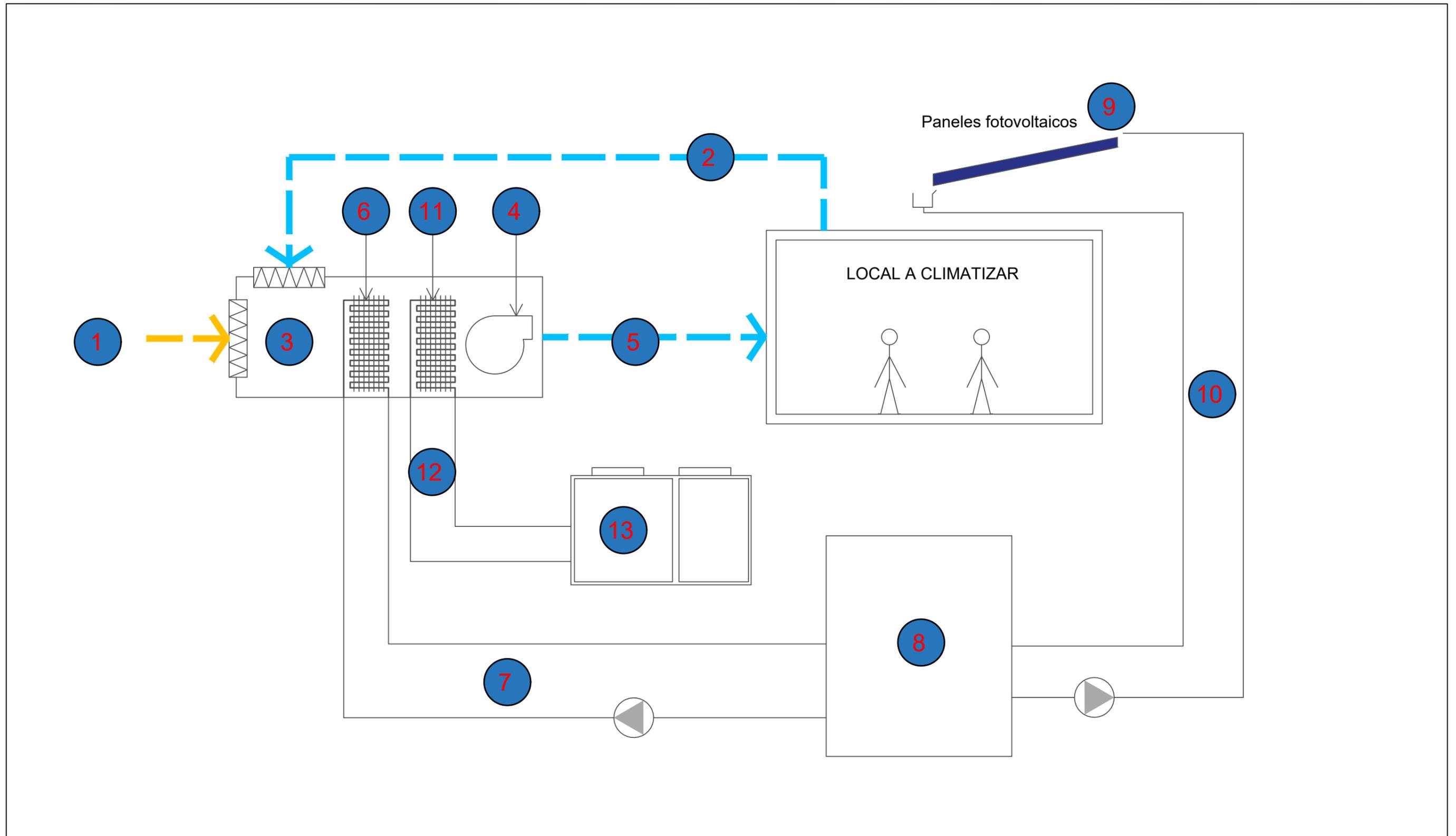
 Caldera de gas natural convencional	 Contador individual de AFS	 Intercambiador de calor	 Bomba
 Contador general de AFS	 Depósito acumulador de ACS	 Equipo bomba de calor	 Llave de paso

PRODUCCIÓN INNOVADORA DE ACS, REFRIGERACIÓN Y ELECTRICIDAD PARA EDIFICIO DE VIVIENDAS EN CAMAS (SEVILLA)
 TRABAJO DE FIN DE MÁSTER. ETSI, UNIVERSIDAD DE SEVILLA

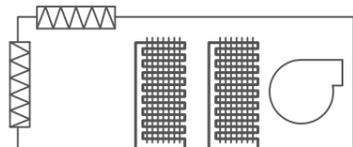
TITULACIÓN: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL FECHA: Noviembre 2024
 ESCALA: S/E

AUTOR: ALONSO JESÚS MÁRQUEZ DURÁN

ESQUEMA DE PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ACS EN LA SOLUCIÓN CONVENCIONAL Nº PLANO 1



LEYENDA:



Unidad de Tratamiento del Aire (UTA)



Bomba



Depósito de inercia del agua del sistema falling-film



Generador de agua caliente para modo calefacción

PRODUCCIÓN INNOVADORA DE ACS, REFRIGERACIÓN Y ELECTRICIDAD PARA EDIFICIO DE VIVIENDAS EN CAMAS (SEVILLA)

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER. ETSI, UNIVERSIDAD DE SEVILLA

TITULACIÓN: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

FECHA: Noviembre 2024

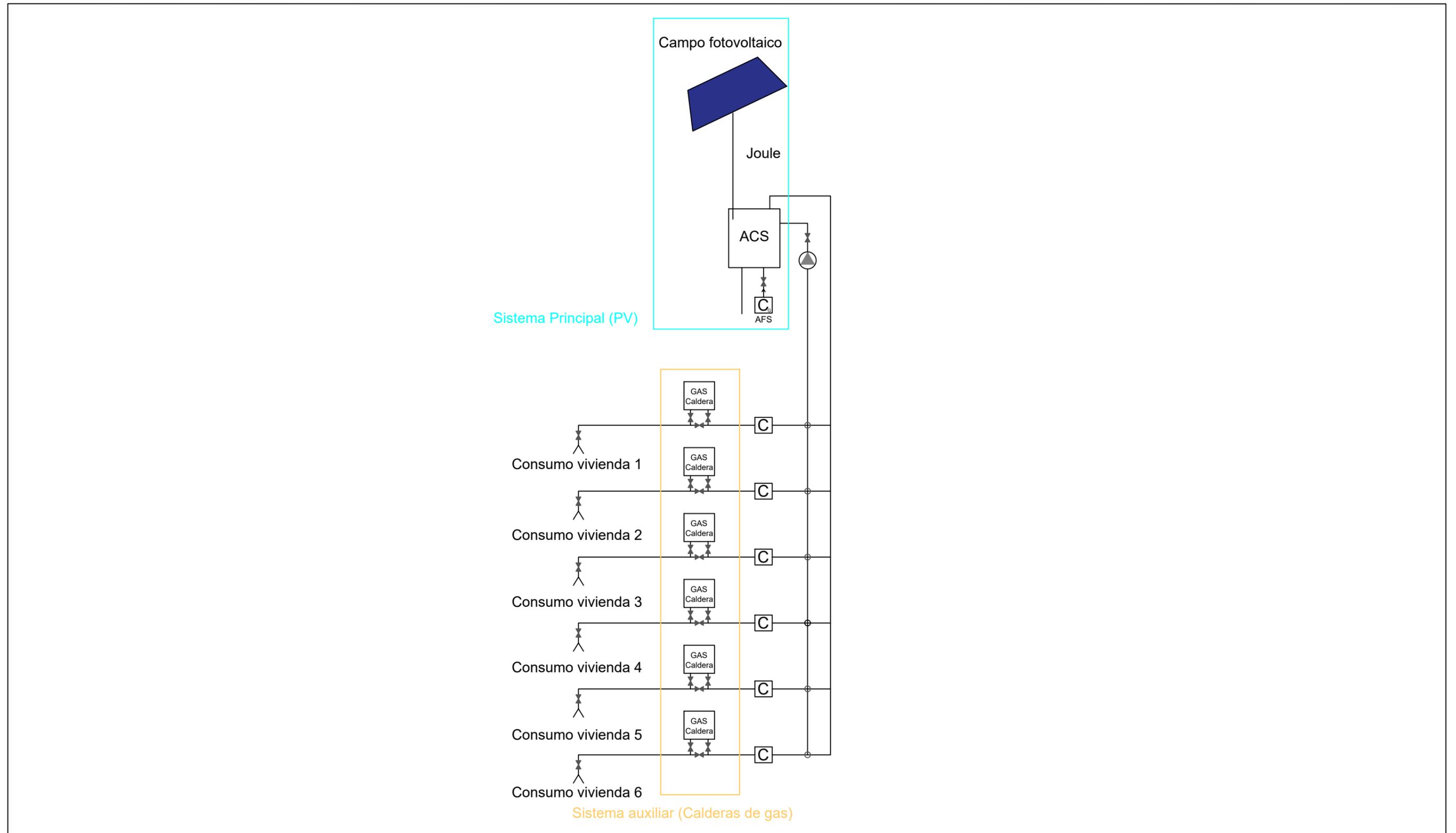
ESCALA: S/E

AUTOR: ALONSO JESÚS MÁRQUEZ DURÁN

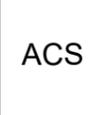
ESQUEMA DE PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL FALLING-FILM EN LA INSTALACIÓN PROPUESTA

Nº PLANO

2



LEYENDA:

	Caldera de gas natural convencional		Contador individual de AFS		Bomba
	Contador general de AFS		Depósito acumulador de ACS		Llave de paso

PRODUCCIÓN INNOVADORA DE ACS, REFRIGERACIÓN Y ELECTRICIDAD PARA EDIFICIO DE VIVIENDAS EN CAMAS (SEVILLA)
 TRABAJO DE FIN DE MÁSTER. ETSI, UNIVERSIDAD DE SEVILLA

TITULACIÓN: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL FECHA: Noviembre 2024
 ESCALA: S/E

AUTOR: ALONSO JESÚS MÁRQUEZ DURÁN

ESQUEMA DE PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ACS EN LA SOLUCIÓN PROPUESTA Nº PLANO 3