



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**ESTUDIO DE VIABILIDAD
TÉCNICO-ECONÓMICO Y PRIORIZACIÓN
DE LAS
ALTERNATIVAS MEDIANTE AHP DE LA
INSTALACIÓN DE ACS Y CLIMATIZACIÓN
DE
UN CENTRO DE SALUD DE 600 M2 EN LA
LOCALIDAD DE VALENCIA**

AUTOR: ADRIÁN ESPINOSA GARCÍA

TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

COTUTOR: PABLO ARAGONÉS BELTRÁN

Curso Académico: 2018-19

RESUMEN

El objetivo del siguiente Trabajo Final de Grado es el estudio de viabilidad técnico-económica de la instalación de agua caliente sanitaria (ACS) y climatización de un Centro de Salud de 600 m² de superficie situado en la calle Bilbao nº 23 (esquina calle Maximiliano Thous) de la localidad de Valencia. Para ello, se determinarán las demandas necesarias de calefacción y refrigeración mediante el uso del programa Clima de Atecyr, además de la demanda de ACS del Centro de Salud de acuerdo con la normativa vigente y a sus características. Los resultados de estos cálculos indican que será suficiente con seleccionar equipos de media-baja potencia para cubrir las exigencias del Centro de Salud.

Posteriormente, se plantearán diferentes alternativas para la climatización (sistema por conductos o por Splits) y el suministro de ACS (combinaciones de energía solar y caldera convencional o sistema de aerotermia), mediante el uso de los catálogos de elementos de Mitsubishi Electric y Baxi Calefacción respectivamente, evaluando técnica y económicamente su viabilidad.

La selección y priorización de las alternativas se realizará mediante la técnica Analytic Hierarchy Process (AHP). Para ello, serán propuestos una serie de criterios que afectan a la toma de la decisión final, como puede ser el coste de inversión o el coste de explotación, y posteriormente realizando una valoración de las alternativas propuestas para cada uno de ellos. Al finalizar la valoración, se observará que hay una combinación que destaca por encima de las demás para todos los criterios, y esta es la combinación de un sistema de aerotermia para el suministro ACS y un sistema por Splits para la climatización.

Finalmente, para verificar la robustez de los resultados obtenidos, se realizará un análisis de sensibilidad mediante el programa SuperDecisions, obteniendo como resultado que, a pesar de variar la prioridad de los criterios, la valoración de las soluciones obtenidas es muy estable.

RESUM

L'objectiu del següent Treball Final de Grau és l'estudi de viabilitat tècnic- econòmica de la instal·lació d'aigua calenta sanitària (ACS) i climatització d'un Centre de Salut de 600 m² de superfície situat en el carrer Bilbao núm. 23 (cantó carrer Maximiliano Thous) de la localitat de València. Per a això, es determinaran les demandes necessàries de calefacció i refrigeració per mitjà de l'ús del programa Clima d'Atecyr, a més de la demanda d'ACS del Centre de Salut d'acord amb la normativa vigent i a les característiques del centre. Els resultats d'estos càlculs indiquen que serà prou de seleccionar equips de mitja-baixa potència per a cobrir les exigències del Centre de Salut.

Posteriorment, es plantejaran diferents alternatives per a la climatització (sistema per conductes o per Splits) i el subministrament d'ACS (combinacions d'energia solar i caldera convencional o sistema d'aerotermita), per mitjà de l'ús dels catàlegs d'elements de Mitsubishi Electric i Baxi Calefacció respectivament, avaluant tècnicament i econòmicament la seua viabilitat.

La selecció i prioritització de les alternatives es realitzarà per mitjà de la tècnica Analytic Hierarchy Process (AHP). Per a això, seran proposats una sèrie de criteris que afecten la presa de la decisió final, com pot ser el cost d'inversió o el cost d'explotació, i posteriorment realitzant una valoració de les alternatives proposades per a cada un d'ells. Al finalitzar la valoració, s'observarà que hi ha una combinació que destaca per damunt de les altres per a tots els criteris, i esta és la combinació d'un sistema d'aerotermita per al subministrament ACS i un sistema per Splits per a la climatització.

Finalment, per a verificar la robustesa dels resultats obtinguts, es realitzarà una anàlisi de sensibilitat per mitjà del programa SuperDecisions, obtenint com resultat que, a pesar de variar la prioritat dels criteris, la valoració de les solucions obtingudes és molt estable.

ABSTRACT

The objective of the following Final Degree Project is the study of technical-economic feasibility of the hot water system (DHW) and air conditioning of a Health Center of 600 m² located at Bilbao Street No. 23 (corner of Maximiliano Thous Street) of the town of Valencia. For this purpose, the necessary heating and cooling demands will be determined through the use of the Atecyr Clima program, as well as the ACS demand of the Health Center in accordance with current regulations and the characteristics of the center. The results of these calculations indicate that it will be sufficient to select medium-low power equipment to meet the demands of the Health Center.

Subsequently, different alternatives for air conditioning (system by ducts or Splits) and the supply of DHW (combinations of solar energy and conventional boiler or aerotermia system) will be considered through the use of the catalogs of elements of Mitsubishi Electric and Baxi Heating, evaluating their viability technically and economically.

The selection and prioritization of the alternatives will be done through the Analytic Hierarchy Process (AHP) technique. To do this, a series of criteria that affect the final decision will be proposed, such as the investment costs or operating costs, and then making an assessment of the alternatives proposed for each one of them. At the end of the assessment, it will be observed that there is a combination that stands out above the others for all the criteria, and this is the combination of an aerothermal system for the ACS supply and a system for Splits for air conditioning.

Finally, to verify the robustness of the results obtained, a sensibility analysis will be carried out using the SuperDecisions program, obtaining as a result that, despite varying the priority of the criteria, the assessment of the obtained solutions is very stable.

ÍNDICE

Documentos contenidos en el TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos
- Anexo

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	Introducción.....	6
1.1.	Antecedentes.....	6
1.2.	Objetivo y alcance.....	6
1.3.	Justificación.....	6
1.4.	Descripción general del proyecto.....	7
2.	Descripción del edificio.....	8
3.	Estudio de las demandas de climatización.....	10
4.	Estudio de las demandas de ACS.....	17
5.	Selección de alternativas.....	19
5.1.	Diseño de la combinación 1.1 (Climatización por Splits y ACS 50% solar + caldera de gas natural).....	20
5.2.	Diseño de la combinación 1.2 (Climatización por Splits y ACS 50% solar + caldera de pellets).....	20
5.3.	Diseño de la combinación 2.1 (Climatización por conductos y ACS 50% solar + caldera de gas natural).....	28
5.4.	Diseño de la combinación 2.2 (Climatización por conductos y ACS 50% solar + caldera de pellets).....	28
5.5.	Diseño de la combinación 3 (Climatización por Splits y ACS por aerotermia).....	31
5.6.	Diseño de la combinación 4 (Climatización por conductos y ACS por aerotermia).....	38
5.7.	Diseño de la combinación 5.1 (Climatización por Splits y ACS máximo % solar + caldera de gas natural).....	39
5.8.	Diseño de la combinación 5.2 (Climatización por Splits y ACS máximo % solar + caldera de pellets).....	39

5.9. Diseño de la combinación 6.1 (Climatización por conductos y ACS máximo % solar + caldera de gas natural)	41
5.10. Diseño de la combinación 6.2 (Climatización por conductos y ACS máximo % solar + caldera de pellets)	41
6. Análisis y elección de la mejor combinación	43
6.1. Explicación de la técnica Analytical Hierarchy Process (AHP)	43
6.2. Análisis criterio 1 (Costes de inversión/instalación)	47
6.3. Análisis criterio 2 (Dificultad de instalación)	48
6.4. Análisis criterio 3 (Dificultad de mantenimiento técnico).....	50
6.5. Análisis criterio 4 (Costes de explotación).....	52
6.6. Análisis criterio 5 (Emisiones de CO ₂).....	61
6.7. Matriz de comparaciones	66
6.8. Análisis de sensibilidad.....	68
7. Conclusiones.....	70
8. Bibliografía.....	72

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Necesidad del presupuesto	73
2. Elaboración del presupuesto	73

ÍNDICE DE ANEXO

1. Información adicional programa Clima	1
2. Cuestionario para el establecimiento de las prioridades de los criterios	2



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

MEMORIA

AUTOR: ADRIÁN ESPINOSA GARCÍA

TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

COTUTOR: PABLO ARAGONÉS BELTRÁN

Curso Académico: 2018-19

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción	6
1.1. Antecedentes	6
1.2. Objetivo y alcance	6
1.3. Justificación	6
1.4. Descripción general del proyecto	7
2. Descripción del edificio	8
3. Estudio de las demandas de climatización	10
4. Estudio de las demandas de ACS	17
5. Selección de alternativas	19
5.1. Diseño de la combinación 1.1 (Climatización por Splits y ACS 50% solar + caldera de gas natural)	20
5.2. Diseño de la combinación 1.2 (Climatización por Splits y ACS 50% solar + caldera de pellets)	20
5.3. Diseño de la combinación 2.1 (Climatización por conductos y ACS 50% solar + caldera de gas natural)	28
5.4. Diseño de la combinación 2.2 (Climatización por conductos y ACS 50% solar + caldera de pellets)	28
5.5. Diseño de la combinación 3 (Climatización por Splits y ACS por aerotermia)	31
5.6. Diseño de la combinación 4 (Climatización por conductos y ACS por aerotermia)	38
5.7. Diseño de la combinación 5.1 (Climatización por Splits y ACS máximo % solar + caldera de gas natural)	39
5.8. Diseño de la combinación 5.2 (Climatización por Splits y ACS máximo % solar + caldera de pellets)	39
5.9. Diseño de la combinación 6.1 (Climatización por conductos y ACS máximo % solar + caldera de gas natural)	41
5.10. Diseño de la combinación 6.2 (Climatización por conductos y ACS máximo % solar + caldera de pellets)	41
6. Análisis y elección de la mejor combinación	43
6.1. Explicación de la técnica Analytical Hierarchy Process (AHP)	43
6.2. Análisis criterio 1 (Costes de inversión/instalación)	47
6.3. Análisis criterio 2 (Dificultad de instalación)	48

6.4. Análisis criterio 3 (Dificultad de mantenimiento técnico).....	50
6.5. Análisis criterio 4 (Costes de explotación).....	52
6.6. Análisis criterio 5 (Emisiones de CO ₂).....	61
6.7. Matriz de comparaciones	66
6.8. Análisis de sensibilidad.....	68
7. Conclusiones.....	70
8. Bibliografía.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Salas del Centro de Salud de Bilbao.....	9
Tabla 2. Condiciones exteriores. Fuente: programa Clima de Atecyr.....	11
Tabla 3. Descripción del edificio. Fuente: programa Clima de Atecyr.	11
Tabla 4. Ocupación del centro de salud, según la sección SI 3 del Documento Básico SI del Código Técnico.	12
Tabla 5. Datos de refrigeración. Fuente: programa Clima de Atecyr.	13
Tabla 6. Resultados de refrigeración. Fuente: programa Clima de Atecyr.	13
Tabla 7. Demanda de refrigeración por salas en el mes de agosto. Fuente: programa Clima de Atecyr.	14
Tabla 8. Datos de calefacción. Fuente: programa Clima de Atecyr.	15
Tabla 9. Resultados de calefacción. Fuente: programa Clima de Atecyr.	15
Tabla 10. Demanda de calefacción por salas en el mes de enero. Fuente: programa Clima de Atecyr.	16
Tabla 11. Contribución solar mínima anual exigida para ACS en %. Fuente: Documento básico HE del Código técnico.	18
Tabla 12. Comparativa de frigorías y calorías por sala. Fuente: programa Clima de Atecyr (1).	20
Tabla 13. Comparativa de frigorías y calorías por sala. Fuente: programa Clima de Atecyr (2).	20
Tabla 14. Especificaciones técnicas del modelo de placa solar STS 200 2.5. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.....	21
Tabla 15. Especificaciones técnicas del modelo de caldera de gas natural Platinum Compact 26/26 F ECO. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.....	22
Tabla 16. Especificaciones técnicas del modelo de depósito acumulador GEISER INOX de doble pared GX6 S600. Fuente: Baxi Calefacción.....	23
Tabla 17. Especificaciones técnicas del modelo de caldera de pellets CB MATIC 18. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.	24
Tabla 18. Especificaciones técnicas de las unidades exteriores de la serie MXZ. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.....	25
Tabla 19. Especificaciones técnicas de las unidades interiores de la serie MSZ de climatización por Splits. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.	25
Tabla 20. Unidades interiores y exteriores del sistema por Splits seleccionadas para cada sala.	26
Tabla 21. Coste de las unidades interiores y exteriores seleccionadas para el sistema por Splits.	27
Tabla 22. Especificaciones técnicas de unidades interiores de la serie PEAD de climatización por conductores. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.	29
Tabla 23. Unidades interiores y exteriores del sistema por conductos seleccionadas para cada sala.	30
Tabla 24. Coste de las unidades interiores y exteriores seleccionadas para el sistema por conductos.	31
Tabla 25. Factor de ponderación para sistemas de calefacción y ACS según la zona climática.	33
Tabla 26. Factor de corrección según la temperatura de condensación y la temperatura del COP.	33
Tabla 27. Justificación para el uso del sistema de aerotermia.	36

Tabla 28. Factores de emisión de CO ₂ y coeficientes de paso a energía primaria en el sector edificios en España.	36
Tabla 29. Especificaciones técnicas del modelo de depósito acumulador GEISER INOX de doble pared GX6 S400. Fuente: Baxi Calefacción.....	41
Tabla 30. Resumen de costes de inversión para cada combinación.....	43
Tabla 31. Valores para las combinaciones pareadas del AHP según la importancia de cada criterio/alternativa.....	44
Tabla 32. Cálculo de las prioridades de los criterios.....	45
Tabla 33. Cálculo de λ_{max}	46
Tabla 34. Valores del índice de consistencia aleatorio en función del número de criterios.....	46
Tabla 35. Cálculo de los valores idealizados del criterio 1 para todas las combinaciones.....	48
Tabla 36. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 2.	49
Tabla 37. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 2.	50
Tabla 38. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 3.	51
Tabla 39. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 3.	52
Tabla 40. Precio del kWh para cada tipo de energía.	52
Tabla 41. Coste del consumo eléctrico de las unidades exteriores para el sistema de climatización por Splits.....	54
Tabla 42. Coste del consumo eléctrico de las unidades interiores para el sistema de climatización por Splits.....	55
Tabla 43. Coste del consumo eléctrico de las unidades interiores para el sistema de climatización por conductos.	57
Tabla 44. Coste de explotación del sistema de aerotermia.	58
Tabla 45. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 4.	60
Tabla 46. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 4.	61
Tabla 47. Emisiones CO ₂ del sistema de ACS de las combinaciones 1.1 y 1.2.....	62
Tabla 48. Emisiones CO ₂ de del sistema de ACS de aerotermia.....	63
Tabla 49. Emisiones CO ₂ del sistema de ACS de las combinaciones 5.1 y 5.2.....	64
Tabla 50. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 5.	65
Tabla 51. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 5.	65
Tabla 52. Matriz de comparaciones.....	66
Tabla 53. Matriz de comparaciones sin la combinación 3.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (1).	8
Figura 2. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (2).	8
Figura 3. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (3).	9
Figura 4. Gráfica de la potencia diaria necesaria de refrigeración por hora durante el mes de agosto. Fuente: programa Clima de Atecyr.	14
Figura 5. Gráfica de la potencia diaria necesaria de calefacción por hora durante el mes de enero. Fuente: programa Clima de Atecyr.	16
Figura 6. Demanda mensual del centro de salud. Fuente: programa Clima de Atecyr.	17
Figura 7. Resultados de la demanda de ACS, programa CHEQ4.	19
Figura 8. Compatibilidades de la serie de unidades exteriores MXZ . Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.	27
Figura 9. Especificaciones técnicas modelo PUAZ-FRP71VHA del sistema híbrido de producción de ACS. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.	34
Figura 10. Especificaciones técnicas del modelo hidrox dúo EHST20C-VM2C del sistema híbrido de producción de ACS. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.	35
Figura 11. Máxima contribución solar posible para cubrir la demanda de ACS. Fuente: Programa CHEQ4.	39
Figura 12. Revisión de seguimiento de Normativa. Fuente: Programa CHEQ4.	40
Figura 13. Orden de selección de la mejor alternativa para la climatización del centro de salud en función de su prioridad ideal.	66
Figura 14. Orden de selección de la mejor alternativa para la climatización del centro de salud en función de su prioridad ideal sin la combinación 3.	67
Figura 15. Sensibilidad del criterio 1: Costes de inversión/Instalación. Fuente: programa SuperDecisions.	69
Figura 16. Sensibilidad del criterio 4: Costes de explotación. Fuente: programa SuperDecisions.	69
Figura 17. Sensibilidad criterio 2.	70

1) INTRODUCCIÓN

Citando el documento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) aprobado por el REAL DECRETO 1027/2007, “Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se obtenga una calidad térmica del ambiente, una calidad del aire interior y una calidad de la dotación de agua caliente sanitaria que sean aceptables para los usuarios del edificio sin que se produzca menoscabo de la calidad acústica del ambiente y que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, como consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos”. Esta cita será una pauta a seguir a lo largo de todo el documento, y que se va a tener en cuenta a la hora de seleccionar las alternativas.

1.1. ANTECEDENTES

Se parte de la necesidad de una reforma para el Centro de Salud de Bilbao, del Departamento de Salud Valencia La Fe, y una mejora de sus sistemas de obtención de agua caliente sanitaria (ACS) y climatización. Para su desarrollo, van a integrarse los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera como pueden ser la planificación y el desarrollo de proyectos o conocimientos acerca de distintos tipos de energías con el aprendizaje de nuevos programas y métodos de toma de decisiones.

1.2. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de este proyecto es el estudio de viabilidad técnico-económica de la instalación de agua caliente sanitaria (ACS) y climatización de un Centro de Salud de 600 m² de superficie situado en la calle Bilbao nº 23 (esquina calle Maximiliano Thous) de la localidad de Valencia. Para alcanzar este objetivo, los pasos a seguir serán:

- Cálculo de las demandas necesarias de calefacción, refrigeración y ACS.
- Seleccionado de diferentes alternativas.
- Estudio de viabilidad técnico-económica de las alternativas.
- Uso de la técnica Analytical Hierarchy Process (AHP) para la selección de la mejor alternativa.
- Análisis de sensibilidad para verificar la robustez de los resultados.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto tiene la finalidad de servir como Trabajo de Final de Grado para así poder completar el Grado en Tecnologías Industriales en la ETSII de la Universidad Politécnica de Valencia y obtener el título correspondiente. El edificio elegido, el Centro de Salud de Bilbao, va a ser sometido a una reforma y por ello en este proyecto se va a realizar un estudio de viabilidad para seleccionar los mejores sistemas disponibles.

Estos sistemas deben cumplir una serie de normativas para que el proyecto sea viable, impuestas por:

- Documento básico HE de ahorro de energía del Código Técnico → Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) → Identificación de temperaturas de consigna, características de ventilación, humedad, etc.
- Documento Básico SI (Seguridad en caso de incendios) del Código Técnico → Ocupación diaria del centro de salud.

1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Con el motivo de facilitar la lectura de este documento, se va a realizar una breve descripción de cada uno de los capítulos que lo componen.

En el capítulo 2 (Descripción del edificio) se describe el estado del Centro de Salud y el edificio donde está ubicado y además se indica la superficie de cada una de las salas que lo componen.

En el capítulo 3 (Estudio de las demandas de climatización) se calculan las cargas térmicas del Centro de Salud mediante el modelado del mismo a través del programa Clima de Atecyr. Posteriormente se muestran los resultados durante los meses más exigentes tanto de refrigeración (agosto) como de calefacción (enero), además de la demanda mensual de ambas a lo largo del año en kWh.

En el capítulo 4 (Estudio de la demanda de agua caliente sanitaria) se calcula la demanda en litros del Centro de Salud en base a sus características y a la normativa vigente del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico para, posteriormente, calcular la demanda energética en kWh necesaria a través del programa CHEQ4 del Instituto para la diversificación y el Ahorro de la Energía (IDEA). En los resultados obtenidos se indican datos como la demanda energética en kWh, la fracción que va a ser cubierta por energía solar en porcentaje o la reducción de emisiones de CO₂ que esto supone.

En el capítulo 5 (Selección de alternativas) se utilizan los datos obtenidos de los capítulos anteriores para seleccionar un total de 10 combinaciones de sistemas de ACS y climatización mediante el uso de los catálogos de elementos de Baxi Calefacción y Mitsubishi Electric respectivamente, estudiando su viabilidad técnica y económica.

En el capítulo 6 (Análisis y elección de la mejor combinación) se realiza una valoración de cada alternativa mediante el Analytic Hierarchy Process (AHP) con el fin de seleccionar correctamente la mejor alternativa. Para ello, se proponen 5 criterios a los cuales se les asigna un valor a cada uno en base a su importancia y se calcula su prioridad. A continuación, se describe el concepto de Ratings para poder valorar las alternativas según cada uno de los criterios para, posteriormente, realizar una matriz de combinaciones y calcular cual es la mejor alternativa. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad mediante el programa SuperDecisions para verificar la robustez de los resultados.

2) DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio estudiado es el Centro de Salud de Bilbao, del Departamento de Salud València La Fe. Consta de una planta de 3 metros de altura y una superficie de 600 m², y se encuentra situado en la parte inferior de un edificio localizado en la esquina entre la calle Bilbao y la calle Maximiliano Thous. Este edificio tiene planta baja, 8 plantas superiores y una cubierta transitable.

En las siguientes figuras se muestra las imágenes del edificio en el que el Centro de Salud está ubicado:

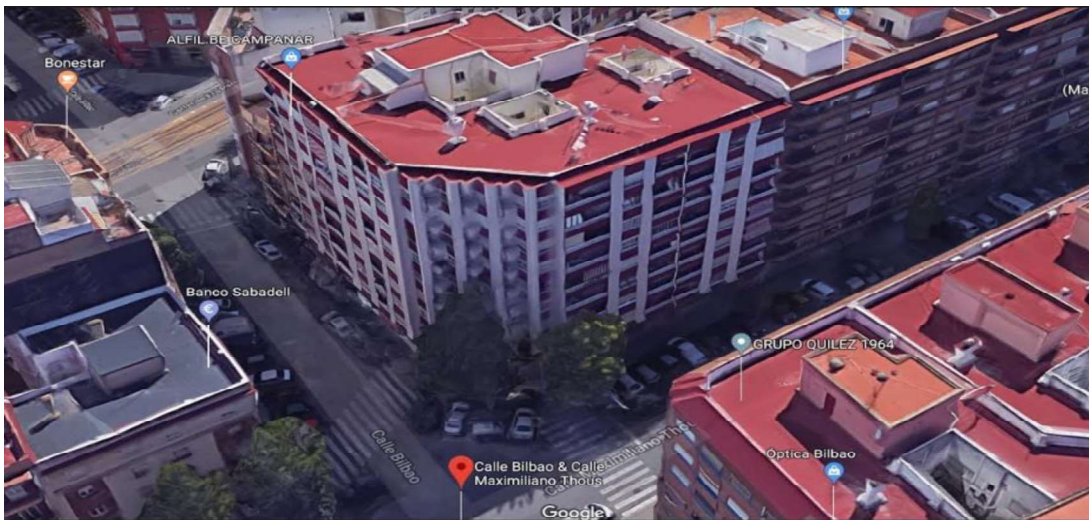


Figura 1. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (1).

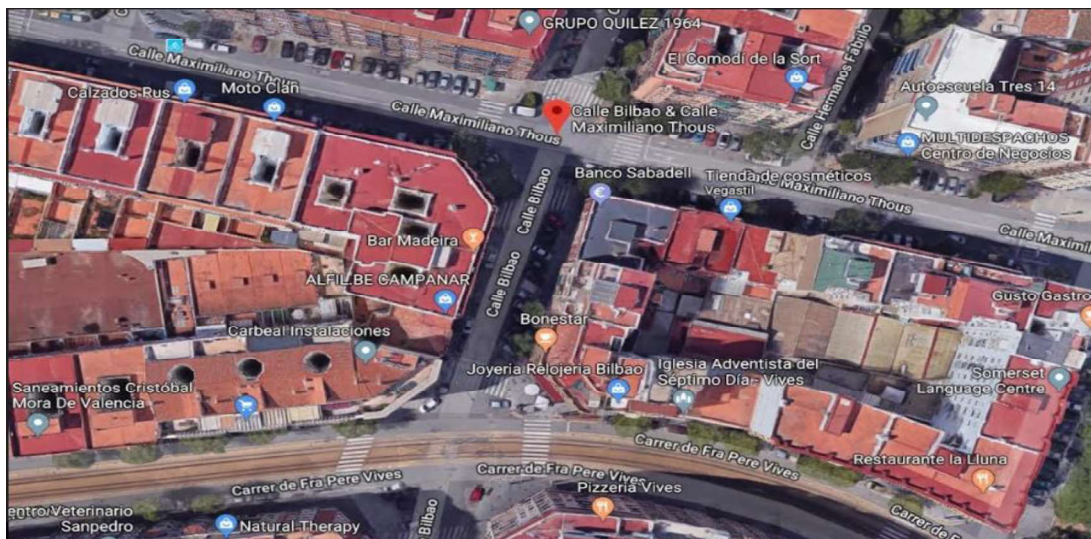


Figura 2. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (2).



Figura 3. Imagen del centro de salud. Fuente: Google Maps (3).

El Centro de Salud está dividido en distintas salas, cuya denominación y superficie se muestran en la Tabla 1:

Sala	Superficie (m ²)	Sala	Superficie (m ²)
Consulta 1	11,86	Enfermería 3	13,88
Consulta 2	14	Aseo hombres	3
Consulta 3	17,15	Aseo mujeres	7,62
Consulta 4	16,65	Aseo privado	4
Consulta 5	20,15	Vestuario femenino	8,75
Consulta 6	18,3	Vestíbulo	8,2
Consulta 7	18	Recepción	23,73
Enfermería 1	12,06	Sala de curas	28,02
Enfermería 2	17,9	Sala de máquinas	16,1
Sala de reuniones	23,18	Almacén de medicamentos	17,2
Sala extracciones	23,62	Sintron	8,95
Almacén y papelería	10,7	Limpieza	5,05
Almacén	2,68	Pasillo	250

Tabla 1. Salas del Centro de Salud de Bilbao.

3) ESTUDIO DE LAS DEMANDAS DE CLIMATIZACIÓN

Para determinar las cargas térmicas del edificio se ha procedido al modelado del mismo a través del programa Clima de la página ATECYR, siglas de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, teniendo en cuenta factores como la ubicación, la orientación, la superficie o la ocupación.

El programa Clima fue desarrollado por un grupo de profesores de la UPV coordinados por el profesor José Manuel Pinazo Ojer, del Grupo de Ingeniería Térmica de Procesos Industriales del Departamento de Termodinámica Aplicada de la UPV denominado FRED SOL, formado por José Manuel Pinazo, Víctor Soto Francés y Emilio Sarabia Escrivá. El programa realmente es un software de simulación térmica de edificios, realizando el análisis de forma horaria, mediante funciones de transferencia, y con las bases de datos normalizadas, las cuales están abiertas para poder incorporar nuevos elementos.

El centro de salud limita con tres zonas distintas, por lo que para la envolvente del edificio se han utilizado los siguientes cerramientos, identificados en el catálogo de elementos constructivos del Código técnico de la edificación (CTE):

Cerramientos entre salas

División interior vertical de obra de fábrica de ladrillo de hueco cerámico triple de 11,5 cm de espesor, con un revestimiento de guarnecido de yeso de 1,5 cm de espesor en cada cara.

Posee una transmitancia térmica de $U = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor de temperatura de la superficie interior de $f_{RSi} = 0,54$.

Cerramiento con viviendas

División interior vertical de obra de fábrica de ladrillo de hueco cerámico doble de 7 cm de espesor, con un revestimiento de guarnecido de yeso de 1,5 cm de espesor en cada cara.

Posee una transmitancia térmica de $U = 2,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor de temperatura de la superficie interior de $f_{RSi} = 0,47$.

Cerramiento con el exterior

Fachada de pared de obra de fábrica de bloque perforado de hormigón de áridos ligeros, de 14 cm de espesor, con revestimiento exterior continuo de 1,5 cm de espesor con resistencia media a la filtración y aislamiento térmico. También tiene trasdosado autoportante de obra de fábrica de ladrillo cerámico hueco doble de 7 cm de espesor y revestimiento interior de guarnecido de yeso de 1,5 cm de espesor.

Posee una transmitancia térmica de $U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor de temperatura de la superficie interior de $f_{RSi} = 0,87$.

Para las ventanas en el cerramiento exterior, se ha elegido unas con marco metálico y vidrio deslizante, tipo de apertura deslizante y sin capialzado. Posee una transmitancia térmica global del hueco de $U_h = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un factor solar $F_h/F_s = 0,58$, siendo F_h el factor solar del hueco y F_s el factor de sombra.

En el programa Clima es necesario introducir los datos relativos a las condiciones exteriores del lugar en el que se encuentra situado el Centro de Salud (Valencia), la descripción del edificio y la ocupación. Estos datos se muestran en la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4 respectivamente:

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO PARA CARGAS TÉRMICAS

Ciudad	Valencia (8416)
Altitud[m]	11,00
Latitud[°]	39,48
Temperatura del terreno[°C]	5,00
Temperatura exterior máxima[°C]	31,40
Humedad relativa coincidente	43,26
Temperatura exterior mínima[°C]	5,50
Humedad relativa coincidente calefacción	75,70
Oscilación media anual[°C]	28,60
Oscilación media diaria[°C]	10,80
Oscilación media diaria invierno[°C]	0,50

Tabla 2. Condiciones exteriores. Fuente: programa Clima de Atecyr.

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Superficie acondicionada [m ²]	553
Volumen aire acondicionado [m ³]	1553

Tabla 3. Descripción del edificio. Fuente: programa Clima de Atecyr.

En el primer capítulo del Anexo se puede encontrar información adicional sobre la introducción de los datos referentes a las condiciones exteriores y al uso del edificio.

Para el cálculo de la ocupación diaria del Centro de Salud, se ha tenido en cuenta la superficie de cada sala en m² y los m² necesarios según la actividad que se lleve a cabo en cada una, que están indicados en la sección SI 3 del Documento Básico SI (Seguridad en caso de incendios) del Código Técnico. Con todo esto, la ocupación diaria del centro de salud son 113 personas.

El cálculo de la ocupación diaria en cada sala se puede observar en la Tabla 4:

Actividad	m ² /persona	Superficie (m ²)	Personas	Actividad	m ² /persona	Superficie (m ²)	Personas
Consulta 1	10	11,86	2	Aseo priv.	3	4	2
Consulta 2	10	14	2	Vestuario femenino	2	8,75	5
Consulta 3	10	17,15	2	Vestíbulo	2	8,2	5
Consulta 4	10	16,65	2	Recepción	2	23,73	12
Consulta 5	10	20,15	3	Sala curas	10	28,02	3
Consulta 6	10	18,3	2	Sala maq.	0	16,1	0
Consulta 7	10	18	2	Sala reunión	2	23,18	12
Enferm. 1	10	12,06	2	Sala extracc.	10	23,62	3
Enferm. 2	10	17,9	2	Alm. Papel	40	10,7	1
Enferm. 3	10	13,88	2	Almacén	40	2,68	1
Aseo hom.	3	3	1	Alm. Medic.	40	17,2	1
Aseo mujer	3	7,62	3	Sintron	10	8,95	1
Pasillo	6	250	42	Limpieza	0	5,05	0

Tabla 4. Ocupación del centro de salud, según la sección SI 3 del Documento Básico SI del Código Técnico.

Una vez se han introducidos todos los datos necesarios, el programa Clima permite identificar la carga térmica máxima en verano y en invierno del edificio para determinar la potencia térmica necesaria de los equipos y obtener la demanda térmica del edificio a lo largo de un año tanto de refrigeración como de calefacción.

En las siguientes tablas se muestran los resultados del programa Clima durante el mes más exigente para la refrigeración y la calefacción, que es el mes de referencia para determinar los equipos necesarios para cumplir la demanda:

REFRIGERACIÓN

Los resultados indican que el mes de máxima carga es agosto, siendo el pico diario a las 13:00.

Datos del proyecto

Superficie [m ²]	Volumen [m ³]	Número de personas
553,15	1553,17	113
Temperatura exterior [°C]	Humedad relativa exterior [%]	Caudal de ventilación [m ³ /h]
31,40	43,26	7965,36

Tabla 5. Datos de refrigeración. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Resultados

	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	72,47	47,79
Ratio [W/m ²]	131,02	86,40
Ocupantes[kW]	22,93	9,54
Luces[kW]	9,49	9,49
Equipos[kW]	6,64	6,64
Ventilación[kW]	26,56	16,44
Cerramientos[kW]	0,33	0,33
Huecos[kW]	3,08	3,08
Mayoración[kW]	3,45	2,28

Tabla 6. Resultados de refrigeración. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Para identificar más detalladamente la demanda de refrigeración, en la Tabla 7 se muestra la de cada sala por separado:

Sala	Frigorías (kW)	Sala	Frigorías (kW)	Sala	Frigorías (kW)
Consulta 1	1,71	Enfermería 3	1,73	Sala de reuniones	2,89
Consulta 2	2,2	Aseo hombres	0,37	Sala extracciones	2,94
Consulta 3	2,26	Aseo mujeres	0,95	Almacén y papelería	1,33
Consulta 4	2,07	Aseo privado	0,5	Almacén	0,33
Consulta 5	2,41	Vestuario femenino	0,8	Almacén de medicamentos	2,14
Consulta 6	2,28	Vestíbulo	1,51	Sintron	1,11
Consulta 7	2,24	Recepción	2,95	Limpieza	0,63
Enfermería 1	1,67	Sala de curas	3,89	Pasillo	25,02
Enfermería 2	2,54	Sala de máquinas	2,43		

Tabla 7. Demanda de refrigeración por salas en el mes de agosto. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Finalmente, en la Figura 4 se muestra la potencia total necesaria en kW en cada hora del día durante el mes de agosto y la procedencia de esa potencia:

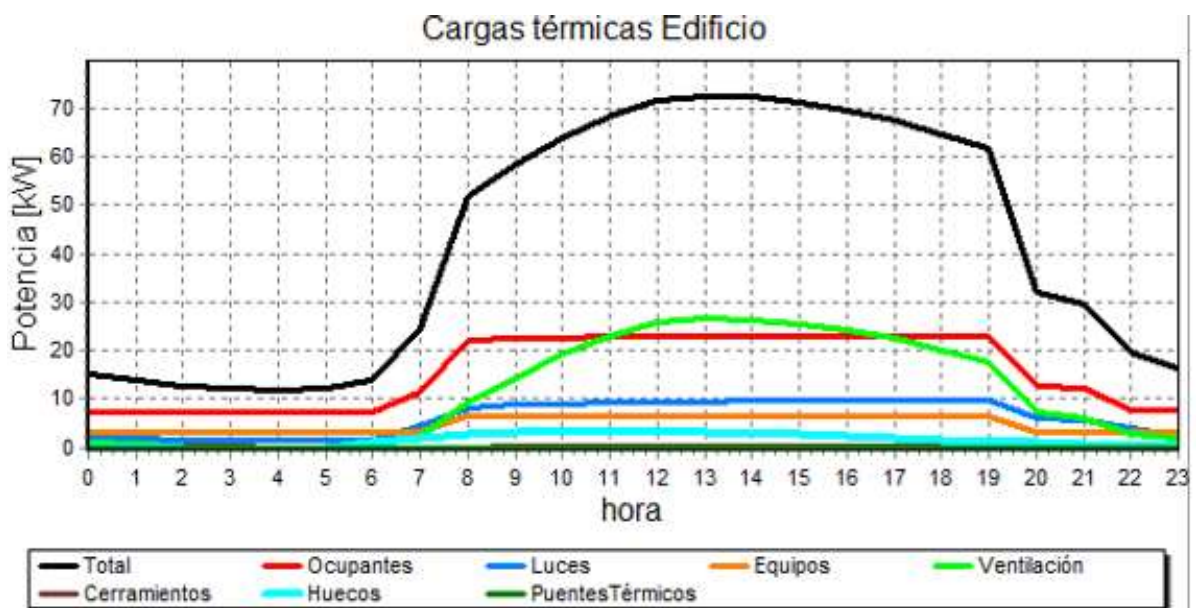


Figura 4. Gráfica de la potencia diaria necesaria de refrigeración por hora durante el mes de agosto. Fuente: programa Clima de Atecyr.

A continuación, se muestran los datos de la demanda de calefacción:

CALEFACCIÓN

Los resultados indican que el mes de máxima carga es enero, siendo el pico diario a las 8:00.

Datos del proyecto

Superficie [m²]	Volumen [m³]	Número de personas
553,15	1553,17	113
Temperatura exterior [°C]	Humedad relativa exterior [%]	Caudal de ventilación [m³/h]
6,61	70,71	7965,36

Tabla 8. Datos de calefacción. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Resultados

	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	60,92	46,99
Ratio [W/m²]	110,14	84,95
Ventilación[kW]	53,42	40,15
Cerramientos[kW]	2,30	2,30
Huecos[kW]	2,30	2,30
Mayoración[kW]	2,90	2,24

Tabla 9. Resultados de calefacción. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Para identificar más detalladamente la demanda de calefacción, en la Tabla 10 se muestra la demanda de cada sala:

Sala	Calorías (kW)	Sala	Calorías (kW)	Sala	Calorías (kW)
Consulta 1	1,42	Enfermería 3	1,46	Sala de reuniones	2.44
Consulta 2	1,86	Aseo hombres	0,32	Sala extracciones	2.48
Consulta 3	1,93	Aseo mujeres	0,8	Almacén y papelería	1.13
Consulta 4	1,78	Aseo privado	0,42	Almacén	0.28
Consulta 5	2,08	Vestuario femenino	0,68	Almacén de medicamentos	1.81
Consulta 6	1,93	Vestíbulo	1,2	Sintron	0.94
Consulta 7	1,89	Recepción	2,5	Limpieza	0.53
Enfermería 1	1,45	Sala de curas	3,24	Pasillo	20.79
Enfermería 2	2,18	Sala de máquinas	2,03		

Tabla 10. Demanda de calefacción por salas en el mes de enero. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Finalmente, en la Figura 5 se muestra la potencia total necesaria en kW en cada hora del día durante el mes de enero y la procedencia de esa potencia:

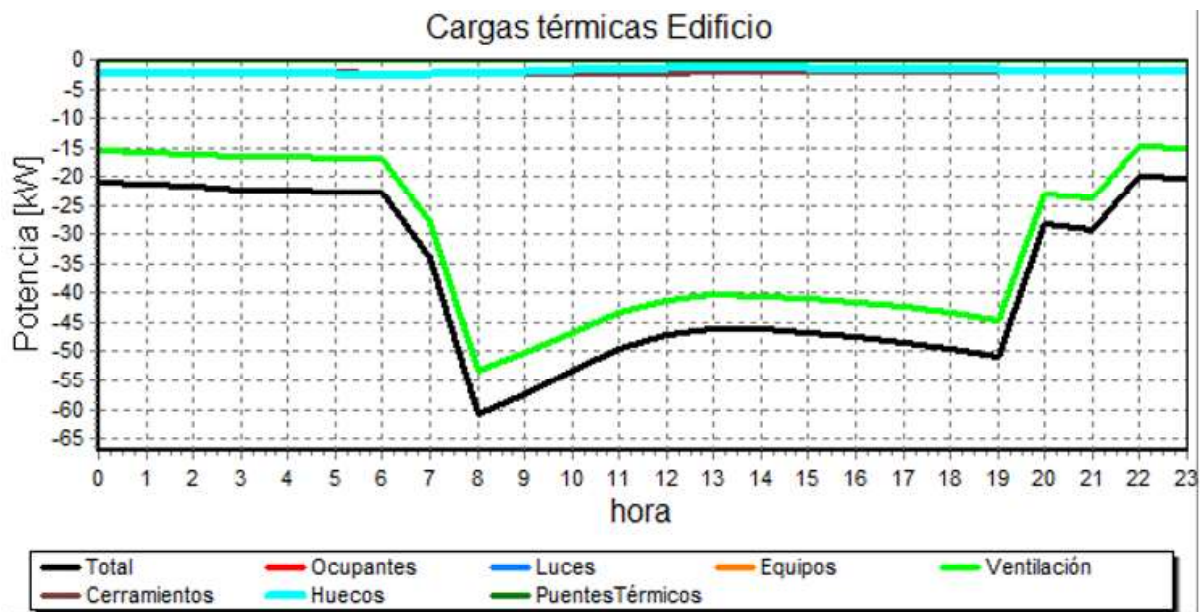


Figura 5. Gráfica de la potencia diaria necesaria de calefacción por hora durante el mes de enero. Fuente: programa Clima de Atecyr.

Para concluir este capítulo, en la gráfica de la Figura 6 se observa la demanda energética en kWh del Centro de Salud a lo largo del año. En color azul queda indicada la demanda de refrigeración, siendo en agosto la que presenta mayor valor. Y en color rojo se indica la demanda de calefacción, siendo en enero la que presenta mayor valor.

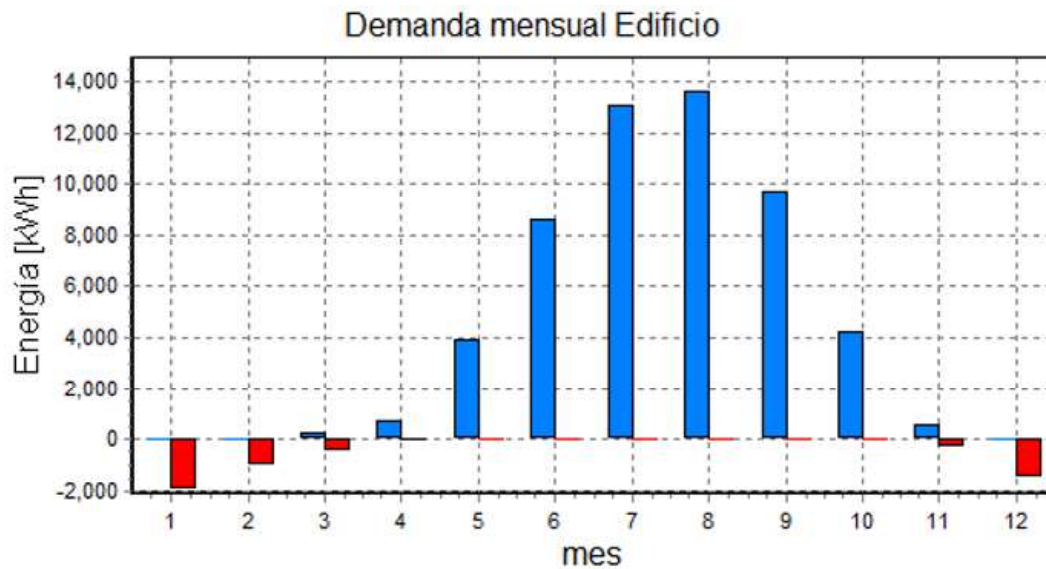


Figura 6. Demanda mensual del centro de salud. Fuente: programa Clima de Atecyr.

4) ESTUDIO DE LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Para estudiar la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y la aportación solar, se ha utilizado el programa CHEQ4 reconocido del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) con la base de datos actualizada 19/03/2019 para así poder acceder a los catálogos de elementos más actuales.

La instalación solar debe cubrir un porcentaje de la demanda de ACS por normativa. Este porcentaje depende de la demanda total de ACS del edificio y de la zona climática en la que se encuentre, y está indicado en la tabla 2.1 de la sección 4 HE del Documento Básico HE de Ahorro de Energía del Código Técnico aprobado por el Real Decreto 314/2006:

Demanda total de ACS del edificio (litros/día)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 - 5000	30	30	40	50	60
5000 - 10000	30	40	50	60	70
> 10000	30	50	60	70	70

Tabla 11. Contribución solar mínima anual exigida para ACS en %. Fuente: Documento básico HE del Código técnico.

Para calcular la demanda de ACS, hay que tener en cuenta que el Centro de Salud dispone de:

- Una única ducha en el vestuario, estimando 2 turnos de 3 personas cada uno y con el consumo de referencia por ducha de 21 litros por uso, tenemos una demanda de 126 litros al día.
- 10 lavabos, estimando que sean usados 10 veces cada uno y con un consumo de referencia de 3 litros por uso, tenemos una demanda de 300 litros al día.

Todas las demandas de referencia han sido obtenidas de la tabla 4.1 del CTE DB HE sección 4.

Sumando ambos consumos se obtiene una demanda de 426 litros al día. Esto junto a que la zona climática de Valencia es la IV, según la Tabla 11 queda definido que la instalación solar debe cubrir al menos un 50% de la demanda total de ACS.

Una vez introducidos en el programa CHEQ4 todos los datos necesarios y considerando unas pérdidas del 10% en sombras y otro 10% (5% + 5%) en orientación e inclinación según la Tabla 2.3 del CTE DB HE sección 4, se obtiene que es suficiente con colocar 3 placas solares del modelo STS 200 2.5 de Baxi Calefacción, puesto que es una de las principales opciones del programa y todas las especificaciones técnicas necesarias para posteriores cálculos se encuentran disponibles en el catálogo técnico de elementos de Baxi Calefacción.

Los resultados de los cálculos del programa CHEQ4 se muestran en la Figura 7:

Resultados

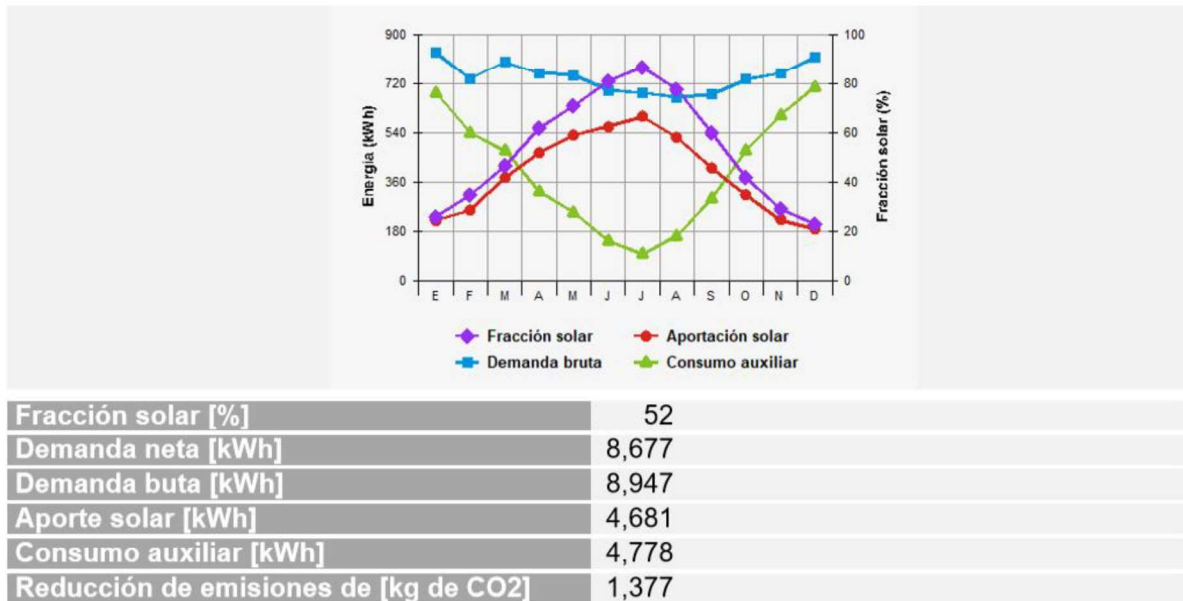


Figura 7. Resultados de la demanda de ACS, programa CHEQ4.

5) SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este punto se va a realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de la instalación de climatización y ACS del centro de salud para así poder identificar distintas alternativas que puedan cumplir tanto la normativa como las exigencias del centro. Estas exigencias vienen dadas por los resultados obtenidos en:

- El programa Clima de Atecyr durante el mes de agosto para las frigorías y el mes de enero para las calorías, ya que son los meses de mayor consumo y por tanto la instalación se ha de diseñar para que cumpla durante su transcurso.
- El programa CHEQ4 para la demanda de ACS mediante sistemas de energía solar.

Para facilitar la identificación de los equipos necesarios, en la Tabla 12 y Tabla 13 se puede observar la comparación entre las demandas de refrigeración y calefacción para cada sala por separado:

Sala	Frigorías (kW)	Calorías (kW)	Sala	Frigorías (kW)	Calorías (kW)
Consulta 1	1,71	1,42	Enfermería 3	1,73	1,46
Consulta 2	2,2	1,86	Aseo hombres	0,37	0,32
Consulta 3	2,26	1,93	Aseo mujeres	0,95	0,8
Consulta 4	2,07	1,78	Aseo privado	0,5	0,42
Consulta 5	2,41	2,08	Vestuario femenino	0,8	0,68
Consulta 6	2,28	1,93	Vestíbulo	1,51	1,2
Consulta 7	2,24	1,89	Recepción	2,95	2,5
Enfermería 1	1,67	1,45	Sala de curas	3,89	3,24
Enfermería 2	2,54	2,18	Sala de máquinas	2,43	2,03

Tabla 12. Comparativa de frigorías y calorías por sala. Fuente: programa Clima de Atecyr (1).

Sala	Frigorías (kW)	Calorías (kW)
Sala de reuniones	2,89	2,44
Sala extracciones	2,94	2,48
Almacén y papelería	1,33	1,13
Almacén	0,33	0,28
Almacén de medicamentos	2,14	1,81
Sintron	1,11	0,94
Limpieza	0,63	0,53
Pasillo	25,02	20,79

Tabla 13. Comparativa de frigorías y calorías por sala. Fuente: programa Clima de Atecyr (2).

A partir de este punto, se van a mostrar las distintas combinaciones que han sido propuestas para cumplir las exigencias calculadas para el Centro de Salud. A efectos de este documento académico, para seleccionar las diferentes alternativas se ha utilizado tanto el catálogo de elementos de Mitsubishi Electric como el de Baxi Calefacción:

Combinación 1

Demanda de ACS	Demanda de climatización
50% solar (norma) + 100% caldera convencional	Climatización por Splits

- 1.1. Caldera convencional de gas natural
- 1.2. Caldera convencional de pellets

DEMANDA DE ACS:

Como se ha explicado anteriormente en el capítulo 4 de la memoria (Estudio de las demandas de ACS), es necesario aportar al menos un 50% del total del ACS con energía solar, y esta aportación solar se va a lograr mediante la instalación de placas solares, que transforman la energía que captan de la radiación solar en energía térmica. De esta manera, al hacer circular agua por ellas se logra su calentamiento hasta la temperatura deseada.

Se van a instalar tres placas solares del modelo STS 200 2.5 de Baxi Calefacción para cubrir el 52% de la demanda de 8677 KWh según los cálculos en el programa CHEQ4. Las principales características de este modelo se indican en la Tabla 14:

	STS 200 2.5
Dimensiones generales cubierta plana en mm (Ancho x Alto x Profundo)	1305 x 1962 x 2031
Superficie total de captación solar (m ²)	2,5
Volumen del depósito acumulador (litros)	200
Peso total sin líquido (kg)	115
Material del acumulador	Acero esmaltado
Presión máxima de trabajo (bar)	8
Temperatura máxima de trabajo (°C)	102
PVP (€)	2168

Tabla 14. Especificaciones técnicas del modelo de placa solar STS 200 2.5. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.

Cada placa de este modelo tiene un precio de 2168 €, por lo que, al necesitar 3 placas, la suma asciende a 6504 €.

Además de las placas solares, se va a hacer uso de un sistema de apoyo que cubra el 48% restante de la demanda pero que tenga la capacidad de cubrir el 100% para así poder asegurar el servicio en el caso de que las placas solares no funcionen según lo previsto.

Para este sistema de apoyo se ha optado por una caldera convencional, estudiando dos opciones diferentes para la alimentación: gas natural o pellets, y para seleccionar los dispositivos también se ha escogido el catálogo de elementos de Baxi Calefacción.

1.1 Gas natural: Requiere un sistema de suministro de cierta complejidad para poder soportar las altas temperaturas de trabajo, pero no es muy contaminante, es muy eficiente y tiene un coste económico inferior a otras materias primas, como puede ser el gasóleo.

No es necesaria demasiada potencia debido a que no existe una gran demanda de ACS en el Centro de Salud, por lo que se ha seleccionado el modelo 26/26 F ECO de la serie Platinum Compact, ya que es compatible con sistemas solares y tiene un funcionamiento eficiente y silencioso, además de ser el modelo de menor potencia y por lo tanto menor coste de la serie. Las principales características de este modelo se indican en la Tabla 14:

	Platinum Compact 26/26 F ECO
Potencia térmica nominal de agua caliente (kW)	26
Clase de eficiencia en calefacción	A (+)
Rendimiento a potencia nominal (%)	105,8
Producción agua caliente sanitaria ΔT 25°C (Litros/minuto)	14,9
Peso neto aproximado (kg)	34
Capacidad depósito de expansión (Litros)	7
PVP (€)	2071

Tabla 15. Especificaciones técnicas del modelo de caldera de gas natural Platinum Compact 26/26 F ECO. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.

Una vez haya sido instalado el sistema convencional, es necesario adquirir un depósito acumulador adicional para poder cubrir la demanda de 426 litros al día, ya que el sistema de almacenamiento incorporado en la propia caldera es insuficiente.

Para esto, se va a seleccionar el modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S600 de Baxi Calefacción, que dispone de la capacidad necesaria, como está indicado en la tabla 15:

Características generales	GEISER INOX de doble pared GX6 S600
Capacidad total (Litros)	608
Capacidad ACS (Litros)	500
Diámetro exterior (mm)	770
Altura total (mm)	1730
Peso en vacío (kg)	149
PVP (€)	2425

Tabla 16. Especificaciones técnicas del modelo de depósito acumulador GEISER INOX de doble pared GX6 S600. Fuente: Baxi Calefacción.

Finalmente, sumando el coste de la caldera de 2071 € y el coste del depósito acumulador de 2425 €, el coste total de la instalación de caldera convencional de gas natural asciende a 4496 €.

1.2 Pellets: es un tipo de combustible formado por un pequeño conglomerado a base de serrín prensado de madera. Esta materia prima presenta la ventaja de que es más ecológica que el gas natural, ya que su combustión es completa y no genera gases de efecto invernadero, pero el coste económico de la caldera necesaria para su uso es mayor.

Para cumplir la demanda se ha seleccionado como caldera de pellets el modelo CBP MATIC 18, que posee un alto rendimiento y muy reducido nivel de mantenimiento, ya que incorpora un sistema de limpieza automático. Además, incluye un depósito de pellets de 45 kg, de manera que siendo equivalente 1 kg de pellets a 4,8 kWh, este depósito es suficiente para abastecer al Centro de Salud durante más de una semana. Más adelante se tendrá en cuenta el mantenimiento adicional que supone este sistema al necesitar que un operario suministre más pellets cada cierto tiempo.

Las principales características de este modelo se indican en la Tabla 17:

	CBP MATIC 18
Potencia térmica nominal (kW)	18
Rendimiento a potencia nominal (%)	90
Potencia eléctrica nominal (W)	150
Tensión de alimentación (V)	230
Clase de eficiencia en la calefacción	A+
Peso (kg)	350
PVP (€)	4191

Tabla 17. Especificaciones técnicas del modelo de caldera de pellets CB MATIC 18. Fuente: Catálogo de elementos de Baxi Calefacción.

Para el depósito acumulador se ha seleccionado el mismo modelo que en el caso anterior, el GEISER INOX de doble pared GX6 S600, indicado en la Tabla 16.

Finalmente, sumando el coste de la caldera de 4191 € y el coste del depósito acumulador de 2425 €, el coste total de la instalación de caldera convencional de pellets es de 6616 €.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En esta combinación se ha optado por utilizar sistemas de climatización por Split o Multisplit. El Split es un sistema formado por una unidad exterior y una unidad interior. La unidad exterior lleva el compresor ya que es el elemento más ruidoso, y la interior es la unidad evaporadora.

El sistema Multisplit es un sistema formado por hasta 7 unidades Split interiores por cada unidad exterior, ocupando así una superficie menor en la fachada exterior, y puede climatizar tanto aire frío como aire caliente.

En verano, la unidad interior obtiene el calor del ambiente y lo descarga en el exterior mientras distribuye aire fresco y limpio en la sala en la cual ha sido instalado. En invierno el proceso es el inverso, obteniendo calor del exterior para posteriormente distribuirlo a la sala.

Este sistema se caracteriza por la posibilidad de ajustar el aire distribuido a distintas temperaturas en cada sala por lo que puede adaptarse a las necesidades propias de cada una.

A la hora de escoger los sistemas Multisplit, se ha optado por la serie MXZ para las unidades exteriores y la Serie MSZ-AP para las unidades interiores, ambas de la gama doméstica de Mitsubishi Electric, ya que poseen grandes prestaciones, buen precio y bajo nivel sonoro. Las principales características de los modelos utilizados se indican en las Tablas 18 y 19:

Unidades exteriores:

MODELO	MXZ-3F68VF	MXZ-4F72VF	MXZ-4F80VF
Nº máximo de unidades interiores	3	4	4
Frío nominal (kW) (Mín-Máx)	6,8 (2,9-8,4)	7,2 (3,7-8,8)	8,0 (3,7-9,0)
Calor nominal (kW) (Mín-Máx)	8,6 (2,6-10,6)	8,6 (3,4-10,7)	8,8 (3,4-11,0)
Consumo nominal (kW)	1,79	1,85	2,25
Nivel sonoro (dB)	48	48	50
Peso (kg)	58	58	59
Condiciones límite de trabajo (Arriba Frío/Debajo Calor) (°C)	-10 +46 -15 +24	-10 +46 -15 +24	-10 +46 -15 +24
PVP (€)	2519	2890	3495

Tabla 18. Especificaciones técnicas de las unidades exteriores de la serie MXZ. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

Unidades interiores:

MODELO	MSZ-AP25VG	MSZ-AP42VG
Frío nominal (kW) (Mín-Máx)	2,5 (0,9-3,4)	4,2 (0,9-4,5)
Calor nominal (kW) (Mín-Máx)	3,2 (1,0-4,1)	5,4 (1,3-6,0)
Consumo nominal (kW)	0,6	1,3
Nivel sonoro (dB)	30	34
Peso (kg)	10.5	10.5
Condiciones límite de trabajo (Arriba Frío/Debajo Calor) (°C)	-10 +46 -15 +24	-10 +46 -15 +24
PVP (€)	475	639

Tabla 19. Especificaciones técnicas de las unidades interiores de la serie MSZ de climatización por Splits. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

Para cumplir la demanda de cada sala, se van a seleccionar sistemas Multisplit para las salas que se encuentren más próximas y así ahorrar gastos en conducciones y disminuir el espacio ocupado por las unidades exteriores en la fachada.

Por este motivo, los modelos elegidos para cada sala son los mostrados en la Tabla 20, además de la demanda de frigorías de la agrupación de salas que debe satisfacer el dispositivo, ya que son mayores que las calorías y marcan la mínima potencia necesaria:

Sala	Unidad int.	Unidad ext.	Sala	Unidad int.	Unidad ext.
Enfermería 1	MSZ-AP25VG	MXZ-4F80VF 4x1 (8,46 kW)	Consulta 5	MSZ-AP25VG	MXZ-4F72VF 4x1 (6,15 kW)
Consulta 3	MSZ-AP25VG		Enfermería 2	MSZ-AP25VG	
Consulta 4	MSZ-AP25VG		Consulta 6	MSZ-AP25VG	
Consulta 2	MSZ-AP25VG		Sintron	MSZ-AP25VG	
Sala curas	MSZ-AP42VG	MXZ-3F68VF 3x1 (7,11 kW)	Enfermería 3	MSZ-AP25VG	MXZ-3F68VF 3x1 (6,86 kW)
Vestíbulo	MSZ-AP25VG		Consulta 7	MSZ-AP25VG	
Consulta 1	MSZ-AP25VG		Sala de reunión y exposiciones	MSZ-AP25VG	
Recepción	MSZ-AP25VG	MXZ-3F68VF 3x1 (6,69 kW)	Pasillo	MSZ-AP25VG (x4)	MXZ-4F72VF 4x1
Sala de Extracciones y técnicas	MSZ-AP25VG			MSZ-AP25VG (x3)	MXZ-3F68VF 3x1
Vestuario femenino	MSZ-AP25VG			MSZ-AP25VG (x3)	MXZ-3F68VF 3x1

Tabla 20. Unidades interiores y exteriores del sistema por Splits seleccionadas para cada sala.

En la Figura 8 se puede observar que la elección de la combinación de ambas series es correcta ya que son compatibles entre ellas:

MODELO	2F33VF	2F42VF	2F53VF	3F54VF	3F68VF	4F72VF	4F80VF	5E102VA	6D122VA
Refrigerante	R32	R32	R32	R32	R32	R32	R32	R410A	R410A
MSZ-LN18VG	*	*	*	*	*	*	*		
MSZ-LN25VG	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-LN35VG		*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF18VG/VE3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF22VG/VE3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF25VG/VE3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF35VG/VE3		*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF42VG/VE3			*	*	*	*	*	*	*
MSZ-EF50VG/VE3			*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP15VG	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP20VG	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP25VG	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP35VG		*	*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP42VG			*	*	*	*	*	*	*
MSZ-AP50VG			*	*	*	*	*	*	*

Figura 8. Compatibilidades de la serie de unidades exteriores MXZ . Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

Una vez seleccionados los equipos necesarios para cada sala, en la Tabla 21 se muestra el coste económico para adquirirlos:

Modelo	Precio unitario (€)	Número de unidades	Precio total (€)
MSZ-AP25VG	475	26	12350
MSZ-AP42VG	639	1	639
MXZ-3F68VF	2519	5	12595
MXZ-4F72VF	2890	2	5780
MXZ-4F80VF	3495	1	3495

Tabla 21. Coste de las unidades interiores y exteriores seleccionadas para el sistema por Splits.

Finalmente, el coste total de todos los sistemas es de 34859 €, según los precios obtenidos en los catálogos comerciales.

Además, según la última base de precios actualizada en 2018 del Instituto Valenciano de Edificación (IVE), para el tipo de instalación seleccionada hay que tener en cuenta un gasto adicional para la mano de obra, los equipos necesarios y los costes directos complementarios, que será del 10%. Por lo que el coste total es de 38344,9 €.

Combinación 2

Demanda de ACS	Demanda de climatización
50% solar (norma) + 100% caldera convencional	Climatización por conductos

2.1. Caldera convencional de gas natural

2.2. Caldera convencional de pellets

DEMANDA DE ACS:

En este caso se van a utilizar los mismos sistemas indicados en la combinación 1:

- Para cumplir la aportación de energía solar, se utilizarán 3 placas solares del modelo STS 200 2.5 de Baxi Calefacción (Tabla 14) con un coste de 6504 €.
- Para el sistema de apoyo se va a utilizar como caldera de gas natural el modelo 26/26 F ECO de la serie Platinum Compact (Tabla 15) con un precio de 2071 €, y como caldera de pellets el modelo de 18 kW de la serie CBP MATIC (Tabla 17) con un precio de 4191 €, ambas con el modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S600 (Tabla 16) como depósito acumulador adicional con un precio de 2425 €. Por lo que el coste para la instalación de la caldera de gas natural es de 4496 € y para la caldera de pellets de 6616 €.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En la combinación 2 se va a analizar el uso de un sistema de climatización por conductos. El funcionamiento de este sistema es muy similar al de los Splits. Consta de una unidad exterior más una unidad situada en el interior, normalmente en el falso techo, que dispone de una conexión por conductos, pudiendo acceder a diversas salas a la vez. El aire se distribuye desde la unidad interior a través de estos conductos, saliendo por difusores ubicados en el falso techo de las salas.

Es una gran opción para climatizar múltiples zonas, minimizando el impacto estético ya que no es necesario tener una unidad interior en cada sala, por lo que supone ahorro económico en la instalación.

A pesar de poder acceder a varias salas a la vez, este sistema tiene un coste económico adicional a los Splits, debido al gasto en los múltiples conductos e instalaciones. Además, a diferencia de los Splits, el sistema de conductos normalmente no dispone de un termostato en cada sala a la que está distribuyendo el aire, sino que existe un control único que define la temperatura a la que estarán todas las salas.

Para las unidades exteriores se va a seleccionar la misma serie que para la combinación 1, la serie MXZ indicada en la Tabla 18, y para las unidades interiores se selecciona la serie PEAD, ya que se integran perfectamente en todo tipo de ambientes y se adaptan a cualquier espacio o necesidad. Ambas series pertenecen al catálogo de Mitsubishi Electric.

Las principales características de los modelos interiores seleccionados se indican en la Tabla 22:

MODELO	PEAD-M50JA	PEAD-M60JA	PEAD-M71JA	PEAD-M100JA
Frío nominal (kW) (Mín-Máx)	5,0 (1,7-5,6)	6,1 (1,6-6,3)	7,1 (2,2-8,1)	9,5 (4,0-10,6)
Calor nominal (kW) (Mín-Máx)	6,0 (1,5-7,2)	7,0 (1,6-8,0)	8,0 (2,0-10,2)	11,2 (2,8-12,25)
Consumo nominal (kW)	1,35	1,69	2,02	2,87
EER/COP	3,70/4,10	3,60/3,80	3,50/3,71	3,30/3,80
Nivel sonoro (dB)	31	29	30	34
Peso (kg)	27	30	30	39
Condiciones límite de trabajo (Arriba Frío/Debajo Calor) (°C)	-15 +46 -10 +24	-15 +46 -10 +24	-15 +46 -10 +24	-15 +46 -15 +21
PVP (€)	919	930	1177	1336

Tabla 22. Especificaciones técnicas de unidades interiores de la serie PEAD de climatización por conductos. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

En la Tabla 23 se muestran las unidades interiores y exteriores seleccionadas, además de la demanda de frigorías de la agrupación de salas que debe satisfacer el dispositivo, ya que son mayores que las calorías y marcan la mínima potencia necesaria.

En esta tabla se observa perfectamente que el número de unidades interiores seleccionadas para la climatización por conductos es menor que para los Splits, debido a que no es necesario disponer de una unidad por sala, y a que los equipos por conductos tienen una mayor potencia por unidad:

Sala	Unidad interior	Unidad exterior	Sala	Unidad interior	Unidad exterior
Enfermería 1	PEAD-M100JA	MXZ-4F80VF 4x1 (8,46 kW)	Consulta 5	PEAD-M60JA	MXZ-4F72VF 4x1 (6,15 kW)
Consulta 3			Enfermería 2		
Consulta 4			Consulta 6		
Consulta 2			Sintron		
Sala curas	PEAD-M71JA	MXZ-3F68VF 3x1 (7,11 kW)	Enfermería 3	PEAD-M71JA	MXZ-3F68VF 3x1 (6,86 kW)
Vestíbulo			Consulta 7		
Consulta 1			Sala de reunión y exposiciones		
Recepción	PEAD-M71JA	MXZ-3F68VF 3x1 (6,69 kW)	Pasillo	PEAD-M50JA (x4)	MXZ-4F72VF 4x1
Sala de Extracciones y técnicas				PEAD-M50JA (x3)	MXZ-3F68VF 3x1
Vestuario femenino				PEAD-M50JA (x3)	MXZ-3F68VF 3x1

Tabla 23. Unidades interiores y exteriores del sistema por conductos seleccionadas para cada sala.

Una vez seleccionados los equipos por conductos necesarios para las salas, en la Tabla 24 se muestra el coste económico para adquirirlos. En esta tabla se observa que, pese a que son necesarios menos equipos para esta combinación, el coste es mayor:

Modelo	Precio unitario (€)	Número de unidades	Precio total (€)
PEAD-M50JA	919	10	9190
PEAD-M60JA	930	1	930
PEAD-M71JA	1177	3	3531
PEAD-M100JA	1336	1	1336
MXZ-3F68VF	2519	5	12595
MXZ-4F72VF	2890	2	5780
MXZ-4F80VF	3495	1	3495

Tabla 24. Coste de las unidades interiores y exteriores seleccionadas para el sistema por conductos.

Finalmente, el coste total de todos los sistemas es de 36857 €, según los precios obtenidos en los catálogos comerciales.

Además, según la última base de precios actualizada en 2018 del Instituto Valenciano de Edificación (IVE), para el tipo de instalación seleccionada hay que tener en cuenta un gasto adicional para la mano de obra, los equipos necesarios y los costes directos complementarios, que será del 30%. Por lo que el coste total es de 47914,1 €

Combinación 3

Demanda de ACS	Demanda de climatización
100% aerotermia	Climatización por Splits

DEMANDA DE ACS:

Para esta combinación, se ha elegido un sistema de aerotermia para cubrir el 100% de la demanda de ACS.

El sistema de aerotermia es un equipo de calefacción/climatización y/o generación de agua caliente sanitaria que basa su funcionamiento en extraer energía del aire exterior ambiente mediante una bomba de calor hacia el interior del centro con un reducido porcentaje de consumo de energía

eléctrica, lo que permite un ahorro energético significativo comparado con otros sistemas de climatización convencionales, aunque su coste inicial normalmente es superior.

Necesitan un menor mantenimiento al ser más sencillas que estos sistemas y no generan residuos de combustión ya que no poseen caldera.

Antes se ha explicado que para cumplir la demanda de agua caliente sanitaria es necesario aportar al menos un 50% del total con energía solar según la sección HE 4 del Documento Básico HE del Código Técnico, pero este documento permite que la aportación solar sea suplida por el uso de energías renovables.

A partir de la publicación de la Decisión 2013/114/CE de la Unión Europea, el sistema de aerotermia estudiado en esta combinación puede considerarse como uso de energías renovables si:

- Las emisiones de CO₂ producidas por las instalaciones utilizadas en el sistema de aerotermia no sean superiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y sistema auxiliar de apoyo.
- La energía primaria no renovable consumida por las instalaciones utilizadas en el sistema de aerotermia no sea superior a la consumida por la correspondiente instalación solar térmica y sistema auxiliar de apoyo.

Según la “Nota informativa sobre la instalación de bombas de calor para producción de ACS en sustitución de la contribución solar mínima de ACS exigida por la HE4-CTE” (AVEN, 2016), es posible justificar el uso del sistema de aerotermia a cambio de la contribución solar para generar ACS si se cumplen los siguientes puntos:

- **La bomba de calor que se vaya a instalar debe tener consideración de renovable, de manera que se cumpla que su SCOPnet (SPF) sea \geq de 2,5.**

Para calcular el SCOPnet se siguen los pasos dictaminados por el documento “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (MINETUR, 2014a).

$$SPF = COP_{nominal} \cdot FP \cdot FC$$

Donde el FP es el factor de ponderación y el FC es el factor de corrección.

El FP se obtiene de la Tabla 25, teniendo en cuenta la zona climática en la que se encuentra el centro de salud. En este caso, la zona climática de Valencia es la B y analizamos para un equipo de aerotermia individual, por lo que el valor del FP es 0,68.

Fuente Energética de la Bomba de Calor	FP				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,8	0,8	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo Split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica	0,99	0,96	0,92	0,86	0,8
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Tabla 25. Factor de ponderación para sistemas de calefacción y ACS según la zona climática.

Para obtener el FC, hay que tener en cuenta que la temperatura de producción de ACS según las demandas del CTE es de 60°C, y la temperatura de referencia del COP indicado por el fabricante es 55 °C, por lo que según la Tabla 26 el FC para este caso es 0,90:

FC						
Tª de condensación (°C)	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Tabla 26. Factor de corrección según la temperatura de condensación y la temperatura del COP.

Con el fin de que sea posible considerar la bomba de calor y la recuperación como renovable, el SCOPnet debe tener un valor superior a 2,5.

$$SCOPnet = COP_{nominal} \cdot FP \cdot FC > 2,5$$

Despejando el $COP_{nominal}$, se obtiene que, para los datos obtenidos sobre el FP y el FC, el valor que debe de tener para el sistema elegido debe ser superior a 4,08.

Dado que no es necesaria demasiada potencia y cumple el COP necesario, se ha seleccionado un sistema de la serie Ecodan Hybrid. Para la unidad exterior se instalará el modelo PUAZ-FRP71VHA y para la producción de ACS el modelo hidrobbox dúo EHST20C-VM2C, ambos de Mitsubishi Electric.

Sus especificaciones técnicas están indicadas en las Figuras 10 y 11 respectivamente.

Sistema híbrido de producción de agua caliente, ACS y A/C con recuperación de calor.



UNIDAD EXTERIOR ECODAN HYBRID				PUAZ-FRP71VHA	
Modo				Agua caliente	Aire acondicionado
Producción de agua caliente	A7W35	Capacidad	kW	8	--
		Consumo	kW	1,96	--
		COP		4,08	--
	A2W35	Capacidad	kW	7,5	--
		Consumo	kW	2,65	--
		COP		2,83	--
	Temperatura de agua en calefacción	°C	25°C a 60°C	--	
	Rango de operación (unidad exterior)	°C	-20°C a 35°C	--	
	Hydrobox conectables ^(*)		EHST20C-VM6SB / EHSC-VM6B	--	
Aire acondicionado	Refrigeración	kW	--	7,1	
	Calefacción	kW	--	8	
	Unidades interiores conectables ^(*)		--	Unids. Interiores Mr. Slim Índice 71 ^(*)	
Recuperación de calor ^(*)	Agua a 45° y Aire Acond. (refrig)	Capacidad	kW	7,8	8
		Consumo	kW		2,16
		COP			7
	Agua a 55° y Aire Acond. (refrig)	Capacidad	kW	7,1	9
		Consumo	kW		3,22
		COP			5
Tuberías	Ext - Interior (A/C)	Distancias máx. / diámetros	--	20m vert, 30m total / Liq: 9,52mm, Gas: 15,88mm	
	Ext - Hydrobox (ATW)	Distancias máx. / diámetros	20m vert, 30m total / Liq: 9,52mm, Gas: 15,88mm	--	
Alimentación eléctrica		F, V, Hz	1 Fase, 230V, 50Hz		
Tamaño (Ancho x Alto x Fondo) / Peso Neto		mm / kg	950 x 942 x 330(+30) / 73		

Figura 9. Especificaciones técnicas modelo PUAZ-FRP71VHA del sistema híbrido de producción de ACS. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

Se puede observar que el sistema dispone de un COP de valor 5 y una capacidad de 7,1 kWh para las condiciones indicadas.

Especificaciones del hydrobox dúo			
	Agua caliente sanitaria	Tanque de 200L incluido	
Modos	Calefacción	Sí	
	Refrigeración	No	
	Temperatura de agua en Calefacción	°C	25~60
	Temperatura de agua en Refrigeración	°C	-
	Alimentación Eléctrica		1 Fase / 230V / 50Hz
Sistema de control		FTC5	
Potencia resist. Apoyo	kW	2	
Nivel sonoro	dB(A)	28	
Intercambiador de placas primario		MWA2-38-PA-4	
Dimensiones	Alto x ancho x fondo	mm	1600 x 595 x 680
	Peso (vacío / lleno)	kg	110 / 320

Figura 10. Especificaciones técnicas del modelo hydrobox dúo EHST20C-VM2C del sistema híbrido de producción de ACS. Fuente: Catálogo de elementos de Mitsubishi Electric.

El precio de venta recomendado de estos sistemas según el catálogo de elementos de Mitsubishi Electric es de 2935 € para el modelo PUAZ-FRP71VHA, y 4481 € para el modelo Hidrobox Dúo EHST20C-VM2C. Además, es necesario el modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S600 (Tabla 16) como depósito acumulador adicional con un precio de 2425 €.

Por lo que el coste total de la instalación de ACS asciende a 9841€.

- **Las emisiones de CO₂ producidas y la energía primaria no renovable consumida por las instalaciones utilizadas en el sistema de aerotermia no sean superiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y sistema auxiliar de apoyo.**

Se va a comprobar si los modelos PUAZ-FRP71VHA y EHST20C-VM2C cumplen con el criterio mencionado mediante los cálculos indicados en la Tabla 27.

Calculando el SCOPnet con la fórmula anterior:

$$SCOPnet = COP_{nominal} \cdot FP \cdot FC > 2,5$$

Se obtiene un SCOPnet de 3,06 > 2,5 por lo que el sistema cumple.

	Sistema de aerotermia	Instalación solar y caldera gas natural
Demanda ACS (kWh)	8677	8677
Demanda ACS cubierta por energía solar (%)	0	50
Fuente de energía	Electricidad	Gas natural
Consumo energía final (kWh)	$\text{Demanda ACS} / \text{SCOPnet} = 8677 / 3,06 = 2835,62$	$(\text{Demanda ACS} \cdot \% \text{Solar}) / (\eta \text{ Caldera Gas}) = (8677 \cdot 0,5) / 0,92 = 4715,76$
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	$\text{Consumo Energía Final} \cdot \text{FPElec} = 2835,62 \cdot 1,954 = 5540,82$	$\text{Consumo Energía Final} \cdot \text{FPGas} = 4715,76 \cdot 1,19 = 5611,76$
Emisiones CO ₂ (kgCO ₂)	$\text{Consumo Energía Final} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} = 2835,62 \cdot 0,331 = 938,59$	$\text{Consumo Energía Final} \cdot \text{FCO}_2\text{Gas} = 4715,76 \cdot 0,252 = 1188,37$

Tabla 27. Justificación para el uso del sistema de aerotermia.

Los coeficientes utilizados son los publicados en el documento reconocido por Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento, versión 20 de julio de 2014.

FUENTE DE ENERGÍA	FACTORES DE PASO DE ENERGÍA FINAL	
	A Energía Primaria No Renovable (kWh _{EPNR} /kWh _{EF})	A Emisiones de CO ₂ (kg _{CO2} /kWh _{EF})
Electricidad	1,954	0,331
Gas Natural	1,190	0,252

Tabla 28. Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria en el sector edificios en España.

Observando los resultados obtenidos, se comprueba que el equipo seleccionado cumple con el criterio propuesto sin ningún tipo de problemas.

- **Verificar que el sistema dispone de la capacidad de almacenamiento de ACS necesaria para abastecer al centro de salud.**

Debe de comprobarse que el sistema de aerotermia tiene la capacidad necesaria para almacenar la demanda diaria o que puede recuperar la temperatura necesaria del agua almacenada más rápido que el tiempo que tarda en consumirse.

Se calcula cuanta demanda anual es capaz de generar el sistema.

$$Q_{ACS_{anual}} = P \cdot T \cdot \eta$$

Donde:

$Q_{ACS_{anual}}$ es la demanda energética anual (kWh).

P es la potencia del sistema (kW).

T es el tiempo de funcionamiento en horas.

η es el rendimiento del sistema.

Para la potencia de 7,1 KW que tiene el modelo PUAZ-FRP71VHA se obtiene:

$$Q_{ACS_{anual}} = P \cdot T \cdot \eta = 7,1 \cdot 24 \cdot 0,85 = 52866,60 \text{ kWh}$$

Por lo que tiene la capacidad de cubrir sobradamente la demanda de 8677 kWh del Centro de Salud.

Mediante la siguiente expresión se calcula el volumen diario que puede generar el sistema para comprobar si es capaz de generar la demanda de 426 l diarios.

$$Q_{ACS_{anual}} = n \cdot 365 \cdot (T_s - T_e)$$

Donde:

$Q_{ACS_{anual}}$ es la demanda anual (kcal).

n es el volumen en litros producido.

T_s es la temperatura de producción del agua (60° C).

T_e es la temperatura de entrada del agua. En este caso se toma como temperatura de entrada 14 °C.

Despejando el volumen producido de la expresión anterior, se comprueba que puede producir una cantidad de 2709,2 litros. Por lo que el sistema es capaz de generar la cantidad de ACS necesaria.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En esta combinación se va a cubrir la demanda con un sistema de climatización por Splits, utilizando los mismos sistemas indicados en la combinación 1: la serie MXZ para las unidades exteriores (Tabla 18) y la serie MSZ-AP para las unidades interiores (Tabla 19), ambas de la gama doméstica de Mitsubishi Electric y con un coste total de 38344,9 €.

Combinación 4

Demanda de ACS	Demanda de climatización
100% aerotermia	Climatización por conductos

DEMANDA DE ACS:

Para esta combinación, al igual que en la anterior, se ha elegido un sistema de aerotermia para cubrir el 100% de la demanda de ACS.

Se van a utilizar los mismos sistemas seleccionados en la combinación 3: Para la unidad exterior se instalará el modelo PUAZ-FRP71VHA (Figura 9) y para la producción de ACS el modelo hidrox dúo EHST20C-VM2C (Figura 10), ambos sistemas de la serie Ecodan Hybrid, además del modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S600 (Tabla 16) como depósito acumulador adicional.

Sumando todo, el coste del sistema de ACS asciende a 9841€.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En esta combinación se va a cubrir la demanda con un sistema de climatización por conductos, utilizando los mismos sistemas indicados en la combinación 2: la serie MXZ para las unidades exteriores (Tabla 18) y la serie PEAD para las unidades interiores (Tabla 22), ambas de la gama doméstica de Mitsubishi Electric y con un coste total de 47914,1 €.

Combinación 5

Demanda de ACS	Demanda de climatización
Máxima aportación solar + sistema de apoyo	Climatización por Splits

- 5.1. Caldera convencional de gas natural
- 5.2. Caldera convencional de pellets

DEMANDA DE ACS:

En esta combinación se ha optado por cubrir la máxima demanda de ACS posible con energía solar sin incumplir ninguna normativa, y completar la demanda restante mediante una caldera convencional como sistema de apoyo.

Para determinar el máximo porcentaje de demanda posible a cubrir con energía solar y cuantas placas se necesitan para ello, se ha vuelto a hacer uso del programa CHEQ4 realizando las modificaciones correspondientes.

Los resultados para este caso se muestran en la Figura 11:

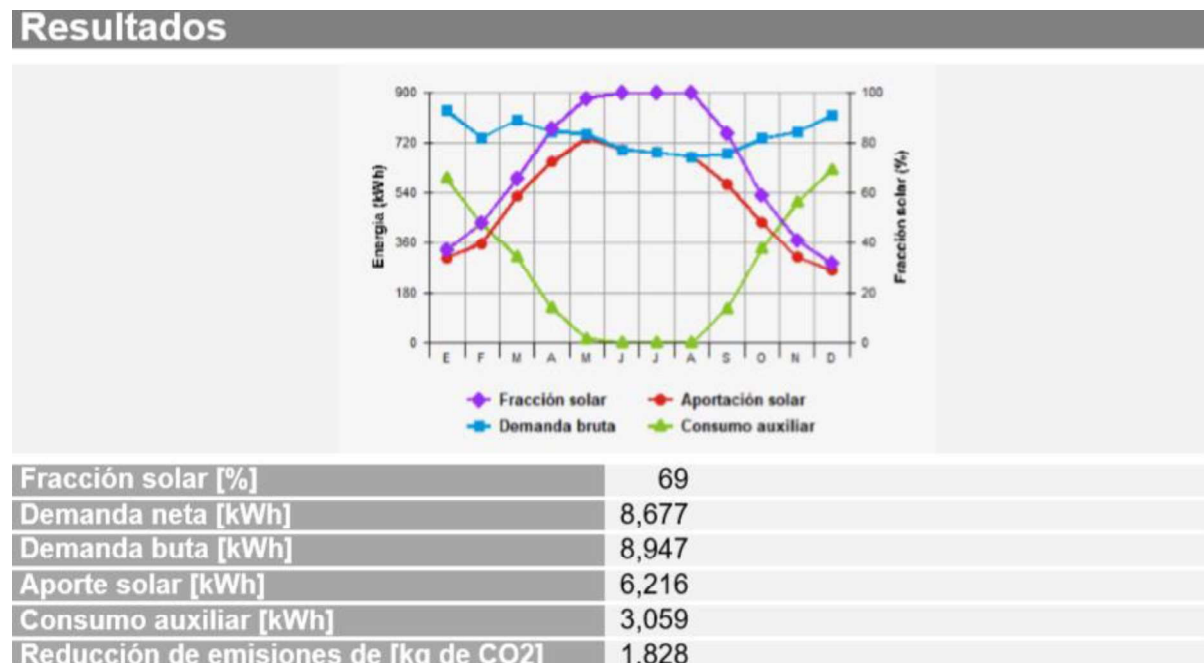


Figura 11. Máxima contribución solar posible para cubrir la demanda de ACS. Fuente: Programa CHEQ4.

En este caso, la máxima aportación solar posible es un 69% y se cumple con el uso de 8 placas solares del modelo STS 200 2.5 de Baxi Calefacción, teniendo en cuenta unas pérdidas del 10% en sombras y otro 10% (5% + 5%) en orientación e inclinación.

Cada placa de este modelo tiene un precio de 2168 €, por lo que, al necesitar 8 placas, la suma asciende a 17344 €.

Hay que tener en cuenta que, en los meses de mayor incisión solar, la energía solar disponible será mayor que la demanda necesaria como se muestra en la Figura 12, por lo que durante estos meses se procederá al tapado parcial de las placas cuando ya se haya obtenido la energía necesaria.

REVISIÓN DE SEGUIMIENTO DE NORMATIVA (HE4)

- Las pérdidas por orientación e inclinación serán inferiores a los límites siguientes:

Casos generales: 10%
Superposición: 20%
Integración arquitectónica: 40%

(HE4: Apartado 2.2.3.2)

- La fracción solar supera como mínimo durante tres meses seguidos el 100 %. Debe tomarse alguna de la tres medidas

dotar la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes.
tapado parcial del campo de captadores.
vaciado parcial del campo de captadores.
desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

(HE4: Apartado 2.2.2.1)

Figura 12. Revisión de seguimiento de Normativa. Fuente: Programa CHEQ4.

Además de las placas solares, es necesaria la instalación un sistema de apoyo para asegurar el servicio en los meses de menor incisión solar, siendo diciembre el mes con mayor consumo auxiliar necesario. En el mes de diciembre la energía solar solo cubre un 32% de la demanda total de 835 kWh, por lo que será necesario un aporte adicional de 567,8 kWh mensuales.

Para cubrir esta demanda es suficiente con utilizar como caldera de gas natural el modelo 26/26 F ECO de la serie Platinum Compact (Tabla 15) con un precio de 2071 €, y como caldera de pellets el modelo 8 de la serie CBP MATIC (Tabla 17) con un precio de 4191 €, que además tienen la capacidad de cubrir el 100% de la demanda en el caso de que la instalación solar no funcionase según lo previsto.

Para ambas combinaciones de calderas se instalará el modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S400 como depósito acumulador, con un precio de 1666 € y cuyas especificaciones técnicas se indican en la Tabla 29:

Características generales	GEISER INOX de doble pared GX6 S400
Capacidad total (Litros)	365
Capacidad ACS (Litros)	300
Diámetro exterior (mm)	620
Altura total (mm)	1725
Peso en vacío (kg)	105
PVP (€)	1666

Tabla 29. Especificaciones técnicas del modelo de depósito acumulador GEISER INOX de doble pared GX6 S400. Fuente: Baxi Calefacción.

Por lo que el coste total de la instalación de las calderas es de 3737 € para la combinación 5.1 y de 5857 € para la combinación 5.2.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En esta combinación se va a cubrir la demanda con un sistema de climatización por Splits, utilizando los mismos sistemas indicados en la combinación 1: la serie MXZ para las unidades exteriores (Tabla 18) y la serie MSZ-AP para las unidades interiores (Tabla 19), ambas de la gama doméstica de Mitsubishi Electric y con un coste total de 38344,9 €.

Combinación 6

Demanda de ACS	Demanda de climatización
Máxima aportación solar + sistema de apoyo	Climatización por conductos

- 6.1 Caldera convencional de gas natural
- 6.2 Caldera convencional de pellets

DEMANDA DE ACS:

En esta combinación se ha optado por cubrir la máxima demanda de ACS posible con energía solar sin incumplir ninguna normativa, y cumplir la demanda necesaria restante mediante una caldera convencional como sistema de apoyo, y al igual que para las combinaciones 5.1 y 5.2, se utilizará:

- Para la aportación solar, 8 placas solares del modelo STS 200 2.5 de Baxi Calefacción (Tabla 14) teniendo en cuenta unas pérdidas del 10% en sombras y otro 10% (5% + 5%) en orientación e inclinación.
Cada placa de este modelo tiene un precio de 2168 €, por lo que, al necesitar 8 placas, la suma asciende a 17344 €.
- Para el sistema de apoyo: como caldera de gas natural el modelo 26/26 F ECO de la serie Platinum Compact (Tabla 15) con un precio de 2071 €, y como caldera de pellets el modelo 8 de la serie CBP MATIC (Tabla 17) con un precio de 4191 €.

Además, para ambas combinaciones de calderas se instalará el modelo GEISER INOX de doble pared GX6 S400 como depósito adicional, con un precio de 1666 €.

Por lo que el coste total de la instalación de las calderas es de 3737€ para la combinación 6.1 y de 5857€ para la combinación 6.2.

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN:

En esta combinación se va a cubrir la demanda con un sistema de climatización por conductos, utilizando los mismos sistemas indicados en la combinación 2: la serie MXZ para las unidades exteriores (Tabla 18) y la serie PEAD para las unidades interiores (Tabla 22), ambas de la gama doméstica de Mitsubishi Electric y con un coste total de 47914,1 €.

Para concluir este capítulo, en la Tabla 30 aparecen resumidos los costes de inversión/instalación de cada una de las combinaciones para la demanda de climatización, la demanda de ACS y los costes totales:

		Demanda ACS (€)	Demanda de climatización (€)	Coste total (€)
Combinación 1.1	50% solar+ GN+ Splits	11000	38344,9	49344,9
Combinación 1.2	50% solar+ pellets+ Splits	13120		51464,9
Combinación 2.1	50% solar+ GN+ conductos	11000	47914,1	58914,1
Combinación 2.2	50% solar+ pellets+ conductos	13120		61034,1
Combinación 3	100% aerotermia+ Splits	9841	38344,9	48185,9
Combinación 4	100% aerotermia+ conductos	9841	47914,1	57755,1
Combinación 5.1	Máx % solar+ GN+ Splits	21081	38344,9	59425,9
Combinación 5.2	Máx % solar+ pellets+ Splits	23201		61545,9
Combinación 6.1	Máx % solar+ GN+ conductos	21081	47914,1	68995,1
Combinación 6.2	Máx % solar+ pellets+ conductos	23201		71115,1

Tabla 30. Resumen de costes de inversión para cada combinación.

6) ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE LA MEJOR COMBINACIÓN

En este capítulo de la memoria va a realizarse un estudio de las distintas combinaciones mediante la técnica Analytical Hierarchy Process (AHP), con el fin de seleccionar la mejor combinación.

Este proceso se basa en la idea de que la complejidad de un problema de toma de decisiones con criterios múltiples puede reducirse y resolverse mediante la jerarquización de los distintos problemas que aparecen. De esta manera, en cada nivel de la jerarquía se hacen comparaciones pareadas entre los puntos de ese mismo nivel, en base a la importancia de cada uno de ellos conforme al que se están comparando.

Este proceso se divide en tres fases: Jerarquización, establecimiento de las prioridades de cada criterio y valoración de alternativas para cada criterio.

En la fase de jerarquización se parte del objetivo que se pretende alcanzar. A continuación, para realizar el proceso es necesario establecer una serie de criterios, que en este caso son:

C1. Costes de inversión/instalación:

Referido a los costes de adquirir e instalar los diferentes sistemas de ACS y climatización.

C2. Dificultad de instalación

Referida a la mayor o menor complejidad a la hora de instalar los sistemas adquiridos, dado que el centro de salud está en funcionamiento.

C3. Mantenimiento técnico de los sistemas

Referido a la dificultad y el esfuerzo en la revisión de cada sistema.

C4. Costes de explotación

Referido a los costes de la energía consumida en hacer funcionar los sistemas adquiridos.

C5. Contaminación del medio ambiente

Referida a las emisiones perjudiciales para el medio ambiente emitidas por los sistemas adquiridos.

En la fase del establecimiento de las prioridades de cada criterio, es necesario asignar un valor numérico a un criterio en función del otro a la hora de realizar las combinaciones pareadas. Se compara el criterio *i* con el *j* y se asignan estos valores según lo descrito en la Tabla 31:

Comparación	Valor asignado
Igual importancia	1
Importancia moderada de un elemento sobre otro	3
Importancia fuerte de un elemento sobre otro	5
Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	7
Extrema importancia de un elemento sobre otro	9
Valores intermedios	2, 4, 6, 8

Tabla 31. Valores para las combinaciones pareadas del AHP según la importancia de cada criterio/alternativa.

De manera que, si un criterio/alternativa i domina con x valor al j , a la hora de realizar la comparación pareada se tendrá que $\text{criterio}_{ij} = x$ y $\text{criterio}_{ji} = 1/x$.

Para realizar una correcta estimación de cada uno de los valores, es necesaria la opinión de un experto en el tema. En este proyecto, esta estimación va a ser realizada por el profesor José Luis Fuentes Bargues del Departamento de Proyectos de Ingeniería en la Universidad Politécnica de Valencia por medio de un cuestionario, en el cual se realizan comparaciones pareadas de importancia para el proyecto entre cada uno de los criterios. Este cuestionario se encuentra en el capítulo 2 del Anexo.

Los resultados de este cuestionario son transferidos a la matriz de juicios con el fin de obtener las prioridades de cada criterio. En esta matriz, la media geométrica se obtiene de multiplicar los n elementos en cada fila y obteniendo su raíz n -ésima. Para obtener la media geométrica normalizada se divide el valor de la media geométrica de cada fila entre la suma de los valores de las medias geométricas de todas las filas:

	C1	C2	C3	C4	C5	Media geom.	Mgeom norm
C1	1	5	7	1	5	2,809	0,373
C2	0,2	1	3	0,2	5	0,903	0,120
C3	0,143	0,333	1	0,143	3	0,459	0,061
C4	1	5	7	1	8	3,086	0,410
C5	0,2	0,2	0,333	0,125	1	0,278	0,037

Tabla 32. Cálculo de las prioridades de los criterios.

Antes de continuar con el proceso, es necesario calcular el ratio de consistencia (CR), ya que es importante tenerlo en consideración para que la decisión final sea de calidad.

La fórmula para calcularlo es: $CR = CI/RI$, donde CI es el índice de consistencia y RI es el índice de consistencia aleatorio, y es necesario calcularlos antes de obtener el CR.

Para obtener el índice de consistencia se aplica la siguiente fórmula: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, donde λ_{\max} es el autovalor principal y n la dimensión de la matriz.

A la hora de calcular λ_{\max} , primero se sigue la siguiente estructura: Matriz $A \times$ Vector $B =$ Vector C

La matriz A es la formada por la combinación pareada de los criterios, y el vector B es la columna formada por los valores de la media geométrica normalizada.

A continuación, se divide el vector C obtenido anteriormente entre el vector B , obteniendo un nuevo vector con n valores.

Finalmente, se realiza la media aritmética de todos esos valores del nuevo vector y se obtiene λ_{\max} .

Para este caso, el proceso de cálculo de λ_{\max} es el siguiente:

A					x	B	=	C	D = C/B
1	5	7	1	5	0,373	1,992		5,345	
0,2	1	3	0,2	5	0,120	0,644		5,372	
0,143	0,333	1	0,143	3	0,061	0,323		5,307	
1	5	7	1	8	0,410	2,103		5,136	
0,2	0,2	0,333	0,125	1	0,037	0,207		5,605	
								λ_{\max}	5,353

Tabla 33. Cálculo de λ_{\max} .

Y ya es posible calcular el índice de consistencia: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,353 - 5}{5 - 1} = 0,088$

El último paso para calcular el ratio de consistencia es obtener el índice de consistencia aleatorio, que depende del número de criterios se estén valorando. En este caso, al tratarse de cinco criterios, según la Tabla 34 el valor del índice de consistencia aleatorio es 1,115.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

Tabla 34. Valores del índice de consistencia aleatorio en función del número de criterios.

Finalmente, el valor del ratio de consistencia es: $CR = CI/RI = 0,088/1,115 = 0,079$

Para $n \geq 5$, solo si acepta que la elección es de calidad si el $CR \leq 0,10$ por lo que la valoración es correcta.

Una vez ha sido obtenida la prioridad de cada criterio, se continúa con la siguiente fase: la valoración de alternativas para cada criterio.

Para completar esta fase se va a hacer uso de los Ratings. Los Ratings se utilizan para evaluar cada alternativa respecto a cada criterio independientemente del resto de alternativas. Esta evaluación se realiza en base a unas categorías establecidas para cada uno de los criterios, a las que se les asignan unas intensidades de preferencia según la opinión del experto.

Lo cual quiere decir que, dentro de cada categoría, el elemento que sea considerado el ideal tendrá asignado el valor 1, y este valor se irá reduciendo para cada elemento de la categoría conforme vaya disminuyendo su expectativa respecto al considerado ideal.

A partir de este punto se va a mostrar el proceso de cálculo de los Ratings asignados a las diferentes combinaciones y el establecimiento de las categorías para cada uno de los criterios.

C1. Criterio de costes de inversión/instalación

A diferencia de los demás criterios, los costes de inversión/instalación no serán valorados por Ratings, sino que se realizará un reparto proporcional. De esta manera, al no haber una diferencia notable entre los valores de la combinación con menor coste y la mayor, este método dispone de una mayor precisión.

Esto se tiene en cuenta debido a que este criterio tiene una alta prioridad, y es necesaria esta precisión con el fin de ser menos discriminatorio con las combinaciones de mayor coste.

Con el fin de poder utilizar los resultados obtenidos para este criterio junto a los demás que se realicen por Ratings, se procederá de la siguiente forma:

- Los cálculos se realizarán con la inversa del coste de inversión/instalación debido a que a la hora de realizar los cálculos finales y seleccionar la mejor alternativa, se tomarán todos los criterios a maximizar.
- La columna valor normalizado es el resultado de dividir cada casilla de la inversa del coste de inversión entre la suma total de esa misma columna.
- Para poder comparar con los Ratings de los demás criterios, los resultados obtenidos se idealizarán, de manera que la columna valores idealizados se obtiene dividiendo cada casilla del valor normalizado entre el máximo valor de esa misma columna. En este caso el valor máximo se obtiene para la 3 y es 0,125.

En la tabla 35 se muestran los valores idealizados calculados para cada alternativa en función de su coste de inversión:

Alternativas	Coste de inversión/instalación (€)	Inversa del coste de inversión	Valor normalizado	Valor idealizado
Combinación 1.1	49345	2,027 E-05	0,117	0,977
Combinación 1.2	51465	1,943 E-05	0,112	0,936
Combinación 2.1	58914	1,697 E-05	0,098	0,818
Combinación 2.2	61034	1,638 E-05	0,095	0,789
Combinación 3	48186	2,075 E-05	0,120	1,000
Combinación 4	57755	1,731 E-05	0,100	0,834
Combinación 5.1	59426	1,683 E-05	0,097	0,811
Combinación 5.2	61546	1,625 E-05	0,094	0,783
Combinación 6.1	68995	1,449 E-05	0,084	0,698
Combinación 6.2	71115	1,40617E-05	0,081	0,678
	SUMA	0.00017275		

Tabla 35. Cálculo de los valores idealizados del criterio 1 para todas las combinaciones.

C2. Dificultad de instalación

En este caso, hay dos tipos de sistemas en cada combinación: sistema de ACS y sistema de climatización.

El sistema de climatización solo tiene dos opciones, Splits o conductos. La instalación de los Splits es bastante más sencilla, ya que no es necesario desmontar el techo de las salas como en el caso de los conductos. Además, hay que tener en cuenta que hay más equipos para la instalación de climatización que para la de ACS, por lo que la dificultad de instalación del sistema de climatización influye en mayor medida que la del sistema de ACS.

Para el sistema de ACS:

- La instalación con 52% energía solar + caldera de gas natural/pellets tiene una dificultad media debido a que, aunque la instalación de tres placas solares tiene cierta complejidad ya que se

debe acceder al tejado del edificio y transportarlas hasta allí, la instalación de las calderas es muy sencilla.

- La instalación con máxima aportación de energía solar + caldera de gas natural/pellets tiene una instalación compleja, ya que se deben instalar ocho placas solares.
- La instalación del sistema de aerotermia es sencilla debido a que solo es necesario instalar dos unidades, la interior y la exterior, sin necesidad de acceder a falso techo.

A continuación, se van a definir las categorías para valorar las distintas combinaciones en función de su dificultad de mantenimiento:

Categorías	Ratings
Muy fácil (Tanto el sistema de ACS como el sistema de climatización son fáciles de instalar)	1
Fácil (El sistema de ACS tiene una dificultad media de instalar y el sistema de climatización es sencillo)	0,9
Medio-Fácil (El sistema de ACS es difícil de instalar y el sistema de climatización es sencillo)	0,7
Medio-Difícil (El sistema de ACS es fácil de instalar y el sistema de climatización es complejo)	0,4
Difícil (El sistema de ACS tiene una dificultad media de instalar y el sistema de climatización es complejo)	0,2
Muy difícil (Tanto el sistema de ACS como el sistema de climatización son difíciles de instalar)	0,1

Tabla 36. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 2.

Y en la Tabla 37 aparecen asociados esos Ratings con cada combinación:

Alternativas		Instalación	Ratings
Combinación 1.1	50% solar+ GN+ Splits	Fácil	0,9
Combinación 1.2	50% solar+ pellets+ Splits	Fácil	0,9
Combinación 2.1	50% solar+ GN+ conductos	Difícil	0,2
Combinación 2.2	50% solar+ pellets+ conductos	Difícil	0,2
Combinación 3	100% aerotermia+ Splits	Muy fácil	1
Combinación 4	100% aerotermia+ conductos	Medio-Difícil	0,4
Combinación 5.1	Máx % solar+ GN+ Splits	Medio-Fácil	0,7
Combinación 5.2	Máx % solar+ pellets+ Splits	Medio-Fácil	0,7
Combinación 6.1	Máx % solar+ GN+ conductos	Muy difícil	0,1
Combinación 6.2	Máx % solar+ pellets+ conductos	Muy difícil	0,1

Tabla 37. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 2.

C3. Mantenimiento técnico de los sistemas

Al igual que para el criterio anterior, hay dos tipos de sistemas en cada combinación: sistema de ACS y sistema de climatización.

El sistema de climatización puede ser por Splits o conductos. El mantenimiento de los Splits es bastante más sencillo por el mismo motivo que en el criterio anterior: no es necesario desmontar el techo de las salas como es el caso de los conductos. De igual forma, hay que tener en cuenta que hay más equipos para mantener en la climatización que para la de ACS, por lo que la dificultad de mantenimiento del sistema de climatización influye en mayor medida que la del sistema de ACS.

Para el sistema de ACS:

- El mantenimiento con 52% energía solar + caldera de gas natural tiene una dificultad media debido a que, aunque el mantenimiento de tres placas solares tiene cierta complejidad ya que se debe acceder al tejado del edificio y limpiar el polvo acumulado para una mayor eficiencia, el mantenimiento de la caldera de gas natural es muy sencillo.

- El mantenimiento con 52% energía solar + caldera de pellets tiene una dificultad alta debido a que es necesario que un operario rellene el depósito de pellets casi semanalmente.
- El mantenimiento con máxima aportación de energía solar + caldera de gas natural tiene una dificultad media, ya que, aunque se debe realizar el mantenimiento de ocho placas solares, no afecta tanto como en el caso del criterio 1.
- El mantenimiento con máxima aportación de energía solar + caldera de pellets tiene una dificultad alta.
- El mantenimiento del sistema de aerotermia es sencillo debido a que solo es hay dos unidades, la interior y la exterior, y son de fácil acceso.

A continuación, se van a definir las categorías para valorar las distintas combinaciones en función de la dificultad de mantenimiento técnico:

Categorías	Ratings
Muy fácil (Tanto el sistema de climatización como el sistema de ACS tienen un mantenimiento sencillo)	1
Fácil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento medio y el sistema de climatización es sencillo)	0,9
Medio-Fácil (El sistema de ACS es tiene un mantenimiento complejo y el sistema de climatización es sencillo)	0,7
Medio-Difícil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento sencillo y el sistema de climatización es complejo)	0,4
Difícil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento medio y el sistema de climatización es complejo)	0,2
Muy difícil (Tanto el sistema de climatización como el sistema de ACS son difíciles de mantener)	0,1

Tabla 38. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 3.

Y en la Tabla 39 aparecen asociados esos Ratings con cada combinación:

Alternativas		Mantenimiento	Ratings
Combinación 1.1	50% solar+ GN+ Splits	Fácil	0,9
Combinación 1.2	50% solar+ pellets+ Splits	Medio-Fácil	0,7
Combinación 2.1	50% solar+ GN+ conductos	Difícil	0,2
Combinación 2.2	50% solar+ pellets+ conductos	Muy Difícil	0,1
Combinación 3	100% aerotermia+ Splits	Muy fácil	1
Combinación 4	100% aerotermia+ conductos	Medio-Difícil	0,4
Combinación 5.1	Máx % solar+ GN+ Splits	Fácil	0,9
Combinación 5.2	Máx % solar+ pellets+ Splits	Medio-Fácil	0,7
Combinación 6.1	Máx % solar+ GN+ conductos	Difícil	0,2
Combinación 6.2	Máx % solar+ pellets+ conductos	Muy difícil	0,1

Tabla 39. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 3.

C4. Costes de explotación

Para la valoración de este criterio se va a calcular el coste de explotación de cada combinación por separado, teniendo en cuenta el consumo de pellets, gas natural y electricidad de cada uno de los sistemas y equipos. En la Tabla 40 se indica el coste de cada tipo de energía para poder realizar los cálculos:

Tipo de energía	Precio (€/kWh)
Energía solar	0
Pellets	0,061
Gas natural	0,05
Electricidad	0,13

Tabla 40. Precio del kWh para cada tipo de energía.

Los datos sobre los precios se han obtenido de la web Preciogas by Selectra (<https://preciogas.com>) para gas natural y electricidad, y de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (<http://www.avebiom.org>) para los pellets.

- **Combinación 1.1:**

Primero se van a determinar los costes de explotación del sistema ACS. En esta combinación, de los 8677 kWh anuales necesarios indicados en la Figura 7 se va a cubrir el 52 % con energía solar y el 48 % restante con una caldera de gas natural.

La demanda a cubrir por la caldera son 4164,96 kWh. Se considera que tiene un rendimiento del 100%, por lo que con un coste del gas natural de 0,05 €/kWh, el coste de explotación del gas natural es $4164,96 \text{ kWh} \cdot 0,05 \text{ €/kWh} = 208,248 \text{ €}$.

Para determinar el consumo eléctrico de la caldera, se va a establecer como pauta de funcionamiento que la caldera funcione solo 3h al día debido a que solo se encenderá cuando la demanda sea superior a la que pueda proporcionar el sistema solar instalado, y esto ocurrirá durante las horas de mayor demanda o de menor aportación solar. El consumo eléctrico de la caldera viene tanto del termoacumulador como del quemador, ambos identificados en las especificaciones de las calderas del catálogo de elementos de Baxi Calefacción:

- El termoacumulador será el mismo para los sistemas de ACS de todas las combinaciones, y funcionará durante 3h debido a que solo es necesario para mantener la temperatura del ACS. Tiene una potencia de 1 kW, por lo que, funcionando durante 3 h al día, el consumo eléctrico anual es de $1 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 1095 \text{ kWh}$, siendo el coste de explotación anual de $1095 \text{ kWh} \cdot 0,13 \text{ €/kWh} = 142,35 \text{ €}$.

- En el caso del quemador de gas natural, este mismo se utilizará para las combinaciones 1.1, 2.1, 5.1 y 6.1, al disponer todas ellas de una caldera de gas natural. Tiene una potencia de 0,18 kW por lo que, funcionando durante 3 h al día, el consumo eléctrico anual es de $0,18 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 197,1 \text{ kWh}$, siendo el coste anual de $197,1 \text{ kWh} \cdot 0,13 \text{ €/kWh} = 25,62 \text{ €}$.

En la instalación solar, el consumo de energía solar no genera coste. Tan solo genera coste la electricidad necesaria para poner en funcionamiento el bombeo del ACS. De manera que, para bombear el caudal necesario, se hace uso de una bomba con una potencia de 550 W que funcione durante todo el día, por lo que el consumo eléctrico anual es de $0,55 \text{ kW} \cdot 16 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 3212 \text{ kWh}$, siendo el coste anual de $3212 \text{ kWh} \cdot 0,13 \text{ €/kWh} = 417,56 \text{ €}$.

Por lo que el consumo eléctrico total del sistema de ACS es de $3212 \text{ kWh} + 1095 \text{ kWh} + 197,1 \text{ kWh} = 4504,1 \text{ kWh}$ y el coste de explotación anual del sistema de ACS es de $208,248 \text{ €} + 417,56 \text{ €} + 142,35 \text{ €} + 25,62 \text{ €} = 793,778 \text{ €}$.

En segundo lugar, se van a determinar los costes de explotación del sistema de climatización por Splits. Este coste procede del consumo de electricidad para hacer funcionar los equipos. Se van a tomar como pautas de funcionamiento un uso del 100 % de la potencia disponible de los equipos durante las 8 h de la jornada de mañana, debido a que la concurrencia es mayor durante estas horas. Y un uso del 50% de la potencia disponible durante las 8 h de la jornada de tarde. De manera que los cálculos del consumo eléctrico se resumen en la siguiente tabla:

UNIDADES EXTERIORES

Modelo	MXF-3F68VF	MXF-4F72VF	MXF-4F80VF
Consumo nominal (kW)	1,79	1,85	2,25
Consumo mañana (kWh)	Consumo nom · hfuncionamiento · 365 días = $1,79 \cdot 8 \cdot 365 = 5226,8$	$1,85 \cdot 8 \cdot 365 = 5402$	$2,25 \cdot 8 \cdot 365 = 6570$
Consumo tarde (kWh)	Consumo nom · hfuncionamiento · 365 días = $0,895 \cdot 8 \cdot 365 = 2613,4$	$0,925 \cdot 8 \cdot 365 = 2701$	$1,125 \cdot 8 \cdot 365 = 3285$
Número de unidades	5	2	1
KWh anuales	(Consumo tarde + Consumo mañana) · Nº unidades = $(5226,8 + 2613,4) \cdot 5 = 39201$	$(5402 + 2701) \cdot 2 = 16206$	$(6570 + 3285) = 9855$
Coste (€)	KWh anuales · 0,13 €/kWh = $39201 \cdot 0,13 = 5096,13$	$16206 \cdot 0,13 = 2106,78$	$9855 \cdot 0,13 = 1281,15$

Tabla 41. Coste del consumo eléctrico de las unidades exteriores para el sistema de climatización por Splits.

Con lo que el consumo eléctrico anual de las unidades exteriores es de 65262 kWh y su coste de explotación es de 8484,06 €.

UNIDADES INTERIORES

Modelo	MSZ-AP25VG	MSZ-AP42VG
Consumo nominal (kW)	0,6	1,3
Consumo mañana (kWh)	Consumo nom· hfuncionamiento· 365 días= $0,6 \cdot 8 \cdot 365 = 1752$	$1,3 \cdot 8 \cdot 365 = 3796$
Consumo tarde (kWh)	Consumo nom· hfuncionamiento· 365 días= $0,3 \cdot 8 \cdot 365 = 876$	$0,65 \cdot 8 \cdot 365 = 1898$
Número de unidades	26	1
KWh anuales	(Consumo tarde+ Consumo mañana)· Nº unidades= $(1752 + 876) \cdot 26 = 68328$	$(3796 + 1898) = 5694$
Coste (€)	KWh anuales· 0,13 €/kWh= $68328 \cdot 0,13 = 8882,64$	$5694 \cdot 0,13 = 740,22$

Tabla 42. Coste del consumo eléctrico de las unidades interiores para el sistema de climatización por Splits.

Con lo que el consumo eléctrico anual de las unidades interiores es de 74022 kWh y su coste de explotación es de 9622,86 €.

Además, es necesario tener en cuenta que los sistemas de climatización no están funcionando en continuo durante todo el tiempo indicado anteriormente, sino que en función de la temperatura del termostato tiene momentos de arranque y paro, por lo que los costes de explotación obtenidos para cada uno de los sistemas de climatización de las distintas combinaciones se multiplican por un coeficiente de valor 0,7 para ajustarse con mayor exactitud a los costes reales, de manera que los resultados obtenidos son:

- Consumo eléctrico anual de 45683,4 kWh para las unidades exteriores y 51815,4 kWh para las unidades interiores, sumando un total de 97498,8 kWh.
- Coste de explotación anual de 5938,84 € para las unidades exteriores y 6736 € para las unidades interiores, sumando un total de 12674,84 €.

- **Combinación 1.2:**

Los costes de explotación del sistema ACS se calculan de manera similar que en la anterior combinación. En esta combinación, al igual que en la anterior, de los 8677 kWh anuales necesarios indicados en la figura 7, se va a cubrir el 52 % con energía solar y el 48 % restante con una caldera de pellets.

La demanda a cubrir por la caldera son 4164,96 kWh, y teniendo un rendimiento del 90%, el total necesario son $4164,96 \text{ kWh} / 0,9 = 4627,73 \text{ kWh}$. Con un coste de pellets de 0,061 €/kWh, el coste de explotación de los pellets es $4164,96 \text{ kWh} \cdot 0,061 \text{ €/kWh} = 254,06 \text{ €}$.

Para determinar el consumo eléctrico de la caldera, se va a establecer la misma pauta de funcionamiento que en la combinación anterior, que trabaje durante 3 h al día. El consumo eléctrico de la caldera viene tanto del termoacumulador como del quemador, ambos identificados en las especificaciones de las calderas del catálogo de elementos de Baxi Calefacción:

- El termoacumulador ya se ha calculado anteriormente, y tiene un consumo eléctrico de 1095 kWh y un coste de explotación anual de 142,35 €.

- En el caso del quemador de pellets, este mismo se utilizará para las combinaciones 1.2, 2.2, 5.2 y 6.2, al disponer todas ellas de una caldera de pellets. Tiene una potencia de 0,3 kW por lo que, funcionando durante 3 h al día, el consumo eléctrico anual es de $0,3 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 328,5 \text{ kWh}$, siendo el coste anual de $328,5 \text{ kWh} \cdot 0,13 \text{ €/kWh} = 42,71 \text{ €}$.

Para la instalación solar se va a utilizar la misma bomba que en la combinación anterior, de 550 W, siendo el consumo eléctrico anual de 3212 kWh y el coste anual de 417,56 €.

Por lo que el consumo eléctrico total del sistema de ACS es de $3212 \text{ kWh} + 1095 \text{ kWh} + 328,5 \text{ kWh} = 4635,5 \text{ kWh}$ y el coste de explotación anual del sistema de ACS es de $254,06 \text{ €} + 417,56 \text{ €} + 142,35 \text{ €} + 42,71 \text{ €} = 856,68 \text{ €}$.

Para el sistema de climatización tiene instalados los mismos equipos que la combinación anterior, por lo que el coste de explotación de este sistema es de 12674,84 €.

- **Combinación 2.1 y 2.2:**

La instalación de ACS en estas combinaciones es la misma que la de las combinaciones anteriores, por lo que el coste de explotación es de 793,78 € y 856,68 € respectivamente.

En segundo lugar, se van a determinar los costes de explotación del sistema de climatización por conductos. Este coste procede del consumo de electricidad para hacer funcionar los equipos. Se van a tomar como pautas de funcionamiento un uso del 100 % de la potencia disponible de los equipos durante las 8 h de la jornada de mañana, debido a que la concurrencia es mayor durante estas horas. Y un uso del 50% de la potencia disponible durante las 8 h de la jornada de tarde. De manera que los cálculos del consumo eléctrico se resumen en la siguiente tabla:

UNIDADES INTERIORES

Modelo	PEAD-M50JA	PEAD-M60JA	PEAD-M71JA	PEAD-M100JA
Consumo nominal (kW)	1,35	1,69	2,02	2,87
Consumo mañana (kWh)	Consumo nom· hfuncion· 365 días= 1,35· 8· 365= 3942	1,69· 8· 365= 4934,8	2,02· 8· 365= 5898,4	2,87· 8· 365= 8380,4
Consumo tarde (kWh)	Consumo nom· hfuncion· 365 días= 0,675· 8· 365= 1971	0,845· 8· 365= 2467,4	1,01· 8· 365= 2949,2	1,435· 8· 365= 4190,2
Número de unidades	10	1	3	1
kWh anuales	(Consumo tarde + Consumo mañana)· Nº unidades= (3942+ 1971)· 10= 59130	4934,8 + 2467,4= 7402,2	(5898,4 + 2949,2)·3= 26542,8	(8380,4 + 4190,2) = 12570,6
Coste (€)	kWh anuales· 0,13 €/kWh= 59130· 0,13= 7686,9	7402,2· 0,13= 962,29	26542,8· 0,13= 3450,56	12570,6· 0,13= 1634,18

Tabla 43. Coste del consumo eléctrico de las unidades interiores para el sistema de climatización por conductos.

Con lo que el consumo eléctrico anual de las unidades interiores es de 105645,6 kWh y su coste de explotación es de 13733,93 €.

Las unidades exteriores son las mismas que las utilizadas en las combinaciones 1.1 y 1.2, por lo que el coste de explotación de las unidades exteriores es de 5938,84 € y el consumo eléctrico anual de 45683,4 kWh.

De la misma manera que se ha explicado anteriormente, estos costes se multiplican por un factor de valor 0,7. Por lo que el coste de explotación de las unidades interiores del sistema de climatización por conductos es de 9613,751 €, que junto a las unidades exteriores suman un total de 15552,59 €. Mientras que el consumo eléctrico de las unidades interiores es de 73951,92 kWh, que junto a las unidades exteriores suman un total de 119635,32 kWh.

- **Combinación 3 y 4:**

Primero se van a determinar los costes de explotación del sistema ACS. En estas combinaciones, de los 8677 kWh necesarios indicados en la figura 7, se va a cubrir el 100% con un sistema de aerotermia:

	Sistema de aerotermia
Demanda a cubrir (kWh)	8677
Fuente de energía	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	$\text{Demanda ACS/SCOPnet} = 8677/3,06 = 2835,62$
Coste (€)	$2835,62 \cdot 0,13 = 368,63$

Tabla 44. Coste de explotación del sistema de aerotermia.

Además del sistema de aerotermia, hay que añadir el termoacumulador, con un consumo eléctrico anual de 1095 kWh y un coste de explotación anual de 142,35 €. Sumando ambos, el consumo eléctrico del sistema de ACS por aerotermia es de 3930,62 kWh, mientras que su coste de explotación es de 510,98 €.

Los costes de explotación del sistema de climatización ya están calculados para ambas combinaciones, siendo el de la combinación 3 por Splits de 12674,84 € y el de la combinación 4 por conductos de 15552,59 €

- **Combinación 5.1 y 5.2:**

Primero determinan los costes de explotación del sistema ACS. En esta combinación, de los 8677 kWh anuales necesarios indicados en la figura 11, se va a cubrir el 69 % con energía solar y el 31 % restante con una caldera de gas natural.

La demanda a cubrir por la caldera es de 2689,87 kWh. Para la caldera de gas natural de la combinación 5.1, se considera que tiene un rendimiento del 100%, por lo que con un coste del gas natural de 0,05 €/kWh, el coste de explotación del gas natural es $2689,87 \text{ kWh} \cdot 0,05 \text{ €/kWh} = 134,5 \text{ €}$. De la misma manera, para la caldera de pellets de la combinación 5.2, con un rendimiento del 90% y un coste de los pellets de 0,061 €/kWh, el coste de explotación de los pellets es $(2689,87 \text{ kWh} \cdot 0,061 \text{ €/kWh}) / 0,9 = 182,31 \text{ €}$.

Al igual que en las combinaciones 1 y 2, para determinar el consumo eléctrico de la caldera, se va a establecer como pauta que la caldera funcionará solo 1,5 h al día debido a que hay una menor demanda a cubrir por la caldera en estas combinaciones. El consumo eléctrico de la caldera viene tanto del termoacumulador como del quemador, ambos identificados en las especificaciones de las calderas del catálogo de elementos de Baxi Calefacción:

- El termoacumulador es el mismo para ambas combinaciones, con un consumo eléctrico de 1 kW · 1,5 h · 365 días = 547,5 kWh y un coste de explotación anual de 547,5 kWh · 0,13 €/kWh = 71,18 €.

- En el caso del quemador de gas natural para la combinación 5.1, el consumo eléctrico anual es 0,18 kW · 1,5 h · 365 días = 98,55 kWh y el coste de explotación anual de 98,55 kWh · 0,13 €/kWh = 12,81 €. Mientras que para la caldera de pellets de la combinación 5.2, el consumo eléctrico anual es de 0,3 kW · 1,5 h · 365 días = 164,25 kWh, y el coste de explotación anual de 164,25 kWh · 0,13 €/kWh = 21,35 €.

Para la instalación solar de esta combinación es necesaria una mayor potencia en la bomba debido a que deberá bombear un mayor caudal. Por ello, se ha seleccionado una bomba de 600 W que funcione durante todo el día, por lo que el consumo eléctrico anual es de 0,6 kW · 16 h · 365 días = 3504 kWh, siendo el coste anual de 3504 kWh · 0,13 €/kWh = 455,52 €.

Por lo que:

- Para la combinación 5.1, el consumo eléctrico total del sistema de ACS es de 3504 kWh + 547,5 kWh + 98,55 kWh = 4150,1 kWh y el coste de explotación anual del sistema de ACS es de 134,5 € + 71,18 € + 12,81 € + 455,52 € = 674 €.

- Para la combinación 5.2, el consumo eléctrico total del sistema de ACS es de 3504 kWh + 547,5 kWh + 164,25 kWh = 4215,75 kWh y el coste de explotación anual del sistema de ACS es de 182,31 € + 71,18 € + 21,35 € + 455,52 € = 730,36 €.

Los costes de explotación del sistema de climatización ya están calculados para ambas combinaciones, siendo ambas combinaciones por Splits de 12674,84 €.

- **Combinación 6.1 y 6.2:**

Los costes de explotación de la instalación ACS son los mismos que los calculados en las combinaciones 5.1 y 5.2, y son de 674 € para la combinación 6.1 y de 730,36 € para la combinación 6.2.

Los costes de explotación del sistema de climatización ya están calculados para ambas combinaciones, siendo ambas combinaciones por conductos de 15552,59 €.

Una vez han sido obtenidos los datos correspondientes a este criterio, se procede a la creación de categorías para valorarlo.

A diferencia del criterio 1 (Costes de inversión/instalación), pese a ser un criterio cuantitativo en este caso se va a hacer uso de los Ratings para valorarlo. Se utilizará este método debido a que, aunque las diferencias entre los costes de explotación de las diferentes combinaciones son muy ligeras, una pequeña diferencia de los costes de explotación a la larga puede suponer un gran ahorro. De manera que, si la valoración se realiza por Ratings, es posible realizar una discriminación más realista:

En la tabla 45 se muestran las categorías creadas para valorar los Ratings:

Categorías	Ratings
Coste entre 13000 y 14000 €	1
Coste entre 14000 y 15000 €	0,9
Coste entre 15000 y 16000 €	0,8
Coste entre 16000 y 17000 €	0,7

Tabla 45. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 4.

Y en la Tabla 46 aparecen asociados esos Ratings con cada combinación:

Alternativas		Coste de explotación (€)	Ratings
Combinación 1.1	50% solar+ GN+ Splits	13469	1
Combinación 1.2	50% solar+ pellets+ Splits	13532	1
Combinación 2.1	50% solar+ GN+ conductos	16346	0,7
Combinación 2.2	50% solar+ pellets+ conductos	16409	0,7
Combinación 3	100% aerotermia+ Splits	13186	1
Combinación 4	100% aerotermia+ conductos	16064	0,7
Combinación 5.1	Máx % solar+ GN+ Splits	13349	1
Combinación 5.2	Máx % solar+ pellets+ Splits	13405	1
Combinación 6.1	Máx % solar+ GN+ conductos	16227	0,7
Combinación 6.2	Máx % solar+ pellets+ conductos	16283	0,7

Tabla 46. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 4.

C5. Contaminación del medio ambiente

La valoración de este criterio se va a realizar principalmente en función de las emisiones de CO₂ producidas por cada una de las combinaciones de forma anual.

En la Tabla 28, que aparece en el capítulo 5, se indican los factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria en el sector edificios en España. Estos son 0,331 kgCO₂/kWh para la electricidad, 0,252 kgCO₂/kWh para el gas natural, y despreciable para la energía solar y los pellets.

Para determinar el consumo energético de los sistemas que afecta a las emisiones se va a hacer uso de los cálculos realizados en el estudio del criterio 4: costes de explotación.

- **Combinación 1.1 y 1.2:**

Para la instalación de ACS con caldera de gas natural de la combinación 1.1 y con caldera de pellets de la combinación 1.2 se tiene:

	Instalación solar y caldera gas natural	Instalación solar y caldera pellets
Demanda materia prima (kWh)	4164,96	4627,73
Consumo eléctrico anual (kWh)	4504,1	4635,5
Emisiones CO ₂ (kgCO ₂)	$\text{Demanda materia prima} \cdot \text{FCO}_2\text{Gas} +$ $\text{consumo eléctrico} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} =$ $4164,92 \cdot 0,252 + 4504,1 \cdot 0,331 =$ 2540,42	$\text{Consumo eléctrico} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} =$ $4635,5 \cdot 0,331 = 1534,35$

Tabla 47. Emisiones CO₂ del sistema de ACS de las combinaciones 1.1 y 1.2.

Por lo que las emisiones de CO₂ del sistema ACS son de 2540,42 kgCO₂ para la combinación 1.1 y de 1534,35 kgCO₂ para la combinación 1.2.

Y para la instalación de climatización de Splits para ambas combinaciones, se ha calculado anteriormente un consumo eléctrico de 97498,8 kWh, por lo que las emisiones de CO₂ anuales son $97498,8 \text{ kWh} \cdot 0,331 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 32272,1 \text{ kgCO}_2$.

- **Combinación 2.1 y 2.2:**

Las emisiones de CO₂ de la instalación ACS son las mismas que las calculadas en las combinaciones 1.1 y 1.2, y son de 2540,42 kgCO₂ para la combinación 2.1 y de 1534,35 kgCO₂ para la combinación 2.2.

Y para la instalación de climatización por conductos, para ambas combinaciones se ha calculado anteriormente un consumo eléctrico de 119635,32 kWh, por lo que las emisiones de CO₂ anuales son $119635,32 \text{ kWh} \cdot 0,331 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 39599,29 \text{ kgCO}_2$.

- **Combinación 3 y 4:**

Primero se van a determinar las emisiones del sistema ACS. En estas combinaciones, de los 8677 kWh necesarios indicados en la figura 7, se va a cubrir el 100% con un sistema de aerotermia:

	Sistema de aerotermia
Demanda ACS (kWh)	8677
Fuente de energía	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	$\text{Demanda ACS/SCOPnet} = 8677/3,06=2835,62$
Emisiones CO ₂ (kgCO ₂)	$\text{Consumo energía final} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} = 2835,62 \cdot 0,331=939,59$

Tabla 48. Emisiones CO₂ de del sistema de ACS de aerotermia.

Además de los 939,59 kgCO₂ anuales del sistema de aerotermia, hay que añadir los producidos por el termoacumulador, que son $1095 \text{ kWh} \cdot 0,331 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 362,45 \text{ kgCO}_2$. Sumando ambos hacen un total de 1302,04 kgCO₂.

Las emisiones de CO₂ del sistema de climatización ya están calculadas para ambas combinaciones, siendo las de la combinación 3 por Splits de 32272,1 kgCO₂ y las de la combinación 4 por conductos de 39599,29 kgCO₂.

- **Combinación 5.1 y 5.2:**

Para la instalación de ACS con caldera de gas natural de la combinación 5.1 y con caldera de pellets de la combinación 5.2 se tiene:

	Instalación solar y caldera gas natural	Instalación solar y caldera pellets
Demanda materia prima (kWh)	2689,887	2988,74
Consumo eléctrico anual (kWh)	4150,1	4215,75
Emisiones CO ₂ (kgCO ₂)	$\text{Demanda materia prima} \cdot \text{FCO}_2\text{Gas} + \text{consumo eléctrico} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} = 2689,887 \cdot 0,252 + 4150,1 \cdot 0,331 = 2051,53$	$\text{Consumo eléctrico} \cdot \text{FCO}_2\text{Elec} = 4215,75 \cdot 0,331 = 1395,4$

Tabla 49. Emisiones CO₂ del sistema de ACS de las combinaciones 5.1 y 5.2.

Por lo que las emisiones de CO₂ del sistema ACS son de 2051,53 kgCO₂ para la combinación 5.1 y de 1395,4 kgCO₂ para la combinación 5.2.

Las emisiones de CO₂ del sistema de climatización ya están calculados para ambas combinaciones, siendo ambas combinaciones por Splits de 32272,1 kgCO₂.

- **Combinación 6.1 y 6.2:**

Las emisiones de CO₂ de la instalación ACS son las mismas que las calculadas en las combinaciones 5.1 y 5.2, y son de 2051,53 kgCO₂ para la combinación 6.1 y de 1395,4 kgCO₂ para la combinación 6.2.

Las emisiones de CO₂ del sistema de climatización ya están calculadas para ambas combinaciones, siendo ambas combinaciones por conductos de 39599,29 kgCO₂.

Una vez ya han sido obtenidos los datos correspondientes a este criterio, se procede a la creación de categorías para valorarlo en la Tabla 50:

Categorías	Ratings
Emisión entre 33000 y 35000 kgCO ₂	1
Emisión entre 35000 y 37000 kgCO ₂	0,9
Emisión entre 37000 y 39000 kgCO ₂	0,8
Emisión entre 39000 y 41000 kgCO ₂	0,7
Emisión entre 41000 y 43000 kgCO ₂	0,6

Tabla 50. Categorías para la valoración de los Ratings del criterio 5.

Y en la Tabla 51 aparecen asociados esos Ratings con cada combinación:

Alternativas		Emisiones CO ₂ (kgCO ₂)	Ratings
Combinación 1.1	50% solar+ GN+ Splits	34813	1
Combinación 1.2	50% solar+ pellets+ Splits	33806	1
Combinación 2.1	50% solar+ GN+ conductos	42140	0,6
Combinación 2.2	50% solar+ pellets+ conductos	41134	0,6
Combinación 3	100% aerotermia+ Splits	33574	1
Combinación 4	100% aerotermia+ conductos	40901	0,7
Combinación 5.1	Máx % solar+ GN+ Splits	34324	1
Combinación 5.2	Máx % solar+ pellets+ Splits	33668	1
Combinación 6.1	Máx % solar+ GN+ conductos	41651	0,6
Combinación 6.2	Máx % solar+ pellets+ conductos	40995	0,7

Tabla 51. Ratings para cada una de las combinaciones asociados al criterio 5.

MATRIZ DE COMPARACIONES

Una vez se han obtenido todos los datos necesarios, se procede a realizar la matriz de decisión. En esta matriz, se añaden las prioridades asociadas a cada criterio y los valores numéricos de cada categoría para cada alternativa.

Primero se realiza la suma ponderada de la fila de cada alternativa en la columna SUMA, multiplicando el valor asociado de cada criterio respecto a la alternativa por la prioridad de ese criterio.

A continuación, en la casilla PRIORIDAD DISTRIBUTIVA se divide cada valor de la columna SUMA entre la suma total de esa misma columna.

Finalmente, para obtener la PRIORIDAD IDEAL, se divide cada valor de la columna PRIORIDAD DISTRIBUTIVA entre el máximo valor de esta misma.

	C1	C2	C3	C4	C5	SUMA	PRIORIDAD DISTRIBUTIVA	PRIORIDAD IDEAL
PRIORIDAD	0,373	0,12	0,061	0,41	0,037			
A1.1	0,927	0,9	0,9	1	1	0,956	0,124	0,955
A1.2	0,889	0,9	0,7	1	1	0,929	0,121	0,928
A2.1	0,777	0,2	0,2	0,7	0,6	0,635	0,082	0,635
A2.2	0,75	0,2	0,1	0,7	0,6	0,619	0,080	0,618
A3	1	1	1	1	1	1,001	0,130	1,000
A4	0,827	0,4	0,4	0,7	0,7	0,694	0,090	0,693
A5.1	0,77	0,7	0,9	1	1	0,873	0,113	0,872
A5.2	0,744	0,7	0,7	1	1	0,851	0,110	0,850
A6.1	0,663	0,1	0,2	0,7	0,6	0,581	0,075	0,580
A6.2	0,643	0,1	0,1	0,7	0,7	0,571	0,074	0,570
						TOTAL	7,710	1

Dividir entre máx p. distrib.

Tabla 52. Matriz de comparaciones.

En la Figura 13 se pueden observar las alternativas ordenadas según su prioridad ideal:

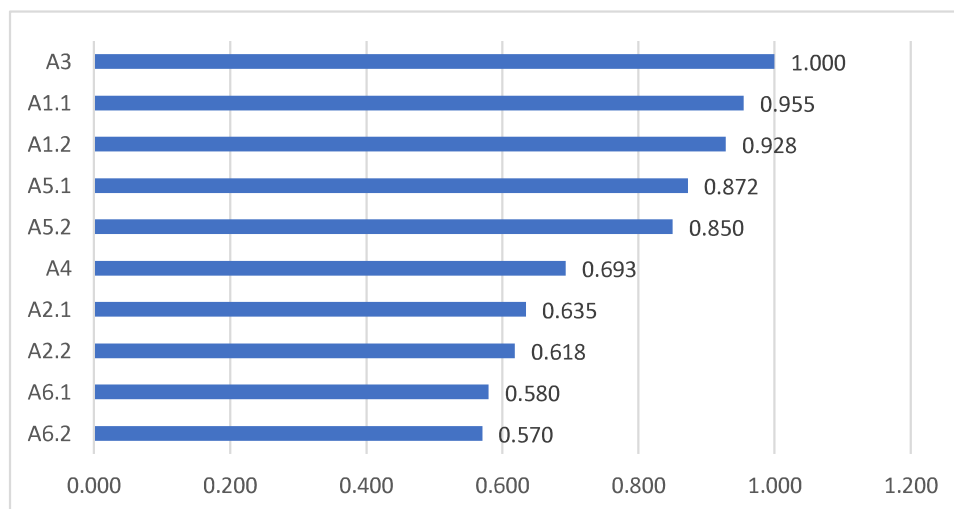


Figura 13. Orden de selección de la mejor alternativa para la climatización del centro de salud en función de su prioridad ideal.

Los resultados indican que la mejor alternativa para la climatización del Centro de Salud de Bilbao es la combinación 3, con un sistema por aerotermia para el ACS y un sistema por Splits para la climatización. Como se puede observar a lo largo de este capítulo, la combinación 3 es la ideal para cada criterio, por lo que destaca claramente. Sin embargo, tanto la combinación 1.1, con un sistema de placas solares y caldera de gas natural cubriendo cada uno un 50% de la demanda para el ACS y un sistema por Splits para la climatización, como la combinación 1.2, con un sistema de placas solares y caldera de pellets cubriendo cada uno un 50% de la demanda para el ACS y un sistema por Splits para la climatización, son grandes opciones, ya que se encuentran cercanas al ideal.

Esto se puede comprobar realizando de nuevo la matriz de comparaciones, pero esta vez sin analizar la combinación 3, por lo que la distribución de cada una de las alternativas varía.

	C1	C2	C3	C4	C5	SUMA	PRIORIDAD DISTRIBUTIVA	PRIORIDAD IDEAL
PRIORIDAD	0,373	0,12	0,061	0,41	0,037			
A1.1	0,927	0,9	0,9	1	1	0,956	0,142	1,000
A1.2	0,889	0,9	0,7	1	1	0,929	0,139	0,972
A2.1	0,777	0,2	0,2	0,7	0,6	0,635	0,095	0,665
A2.2	0,75	0,2	0,1	0,7	0,6	0,619	0,092	0,648
A4	0,827	0,4	0,4	0,7	0,7	0,694	0,103	0,726
A5.1	0,77	0,7	0,9	1	1	0,873	0,130	0,914
A5.2	0,744	0,7	0,7	1	1	0,851	0,127	0,891
A6.1	0,663	0,1	0,2	0,7	0,6	0,581	0,087	0,608
A6.2	0,643	0,1	0,1	0,7	0,7	0,571	0,085	0,597
						TOTAL	6,709	1

Dividir entre máx p, distrib,

Tabla 53. Matriz de comparaciones sin la combinación 3.

Y ordenando de mayor a menor según su prioridad ideal en la Figura 14 se tiene:

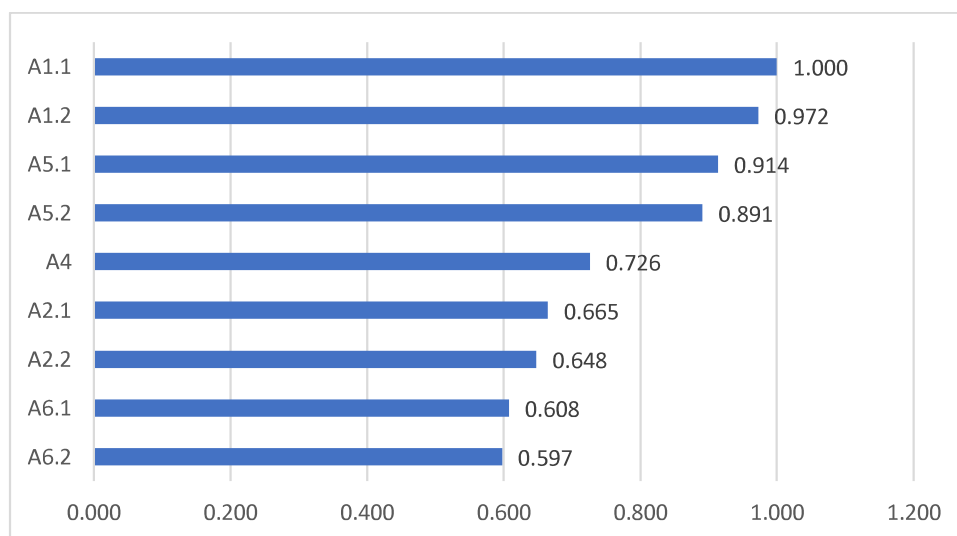


Figura 14. Orden de selección de la mejor alternativa para la climatización del centro de salud en función de su prioridad ideal sin la combinación 3.

De esta manera, podemos observar que en el caso planteado, la combinación 1.1 domina a las demás combinaciones sobre todos los criterios, por lo que la combinación ideal sería la 1.1 pero en menor medida que en el caso anterior, ya que se observa que la siguiente combinación mejor valorada, la combinación 1.2, tiene un valor realmente cercano al ideal, y todas las demás combinaciones han aumentado su valoración debido a que no existe una alternativa tan dominante como la combinación 3.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para finalizar, se ha hecho uso del programa SuperDecisions para realizar un análisis de sensibilidad y poder observar de qué manera afecta la variación de la prioridad otorgada a cada criterio en la prioridad de selección de cada alternativa.

El programa SuperDecisions es el único software educativo gratuito de apoyo a la toma de decisiones que implementa las técnicas Analytical Hierarchy Process (AHP) y Analytical Network Process (ANP), debido a que el AHP y el ANP son las metodologías de síntesis más poderosas para combinar el juicio y los datos para clasificar opciones de manera efectiva y predecir resultados. Fue desarrollado en 1996 por el equipo del creador del método, Thomas L Saaty.

Para realizar el análisis de sensibilidad en el programa SuperDecisions, primero hay que establecer la jerarquía. Esto es, como anteriormente se ha explicado, introducir el objetivo, los criterios y las alternativas. Posteriormente, se establece una relación entre ellos, se introducen las prioridades para cada criterio y los Ratings para cada alternativa. Una vez están todos los datos introducidos, se puede determinar en el programa como afecta la variación de cada criterio a la decisión final.

De los resultados se extrae que la valoración de las alternativas es muy estable, y que las más destacadas lo siguen siendo. Esto es debido a que las combinaciones 1.1, 1.2 y 3 son muy dominantes sobre las demás, y por lo tanto no hay gran variación para la elección de la mejor combinación pese a modificar la prioridad de los criterios.

Esta estabilidad se refleja en las siguientes figuras a través de que, ante la variación de los criterios más determinantes como son el criterio 1: costes de inversión/instalación (Figura 15) y el criterio 4: costes de explotación (Figura 16), la variación de la prioridad de selección de las alternativas es mínima:

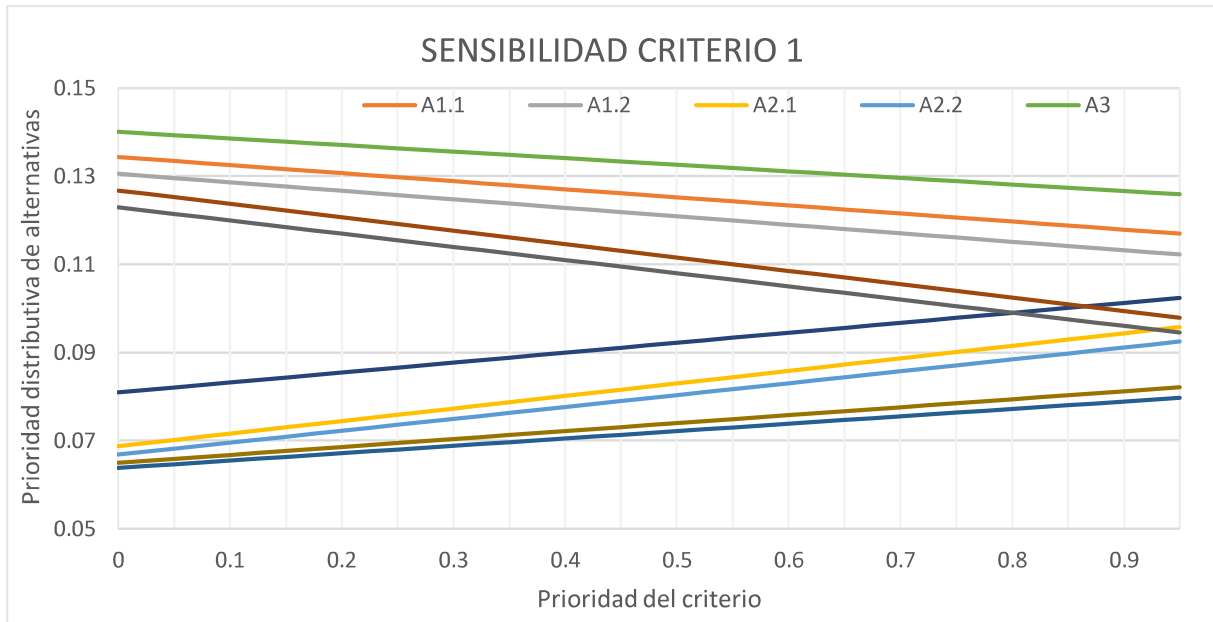


Figura 15. Sensibilidad del criterio 1: Costes de inversión/Instalación. Fuente: programa SuperDecisions.

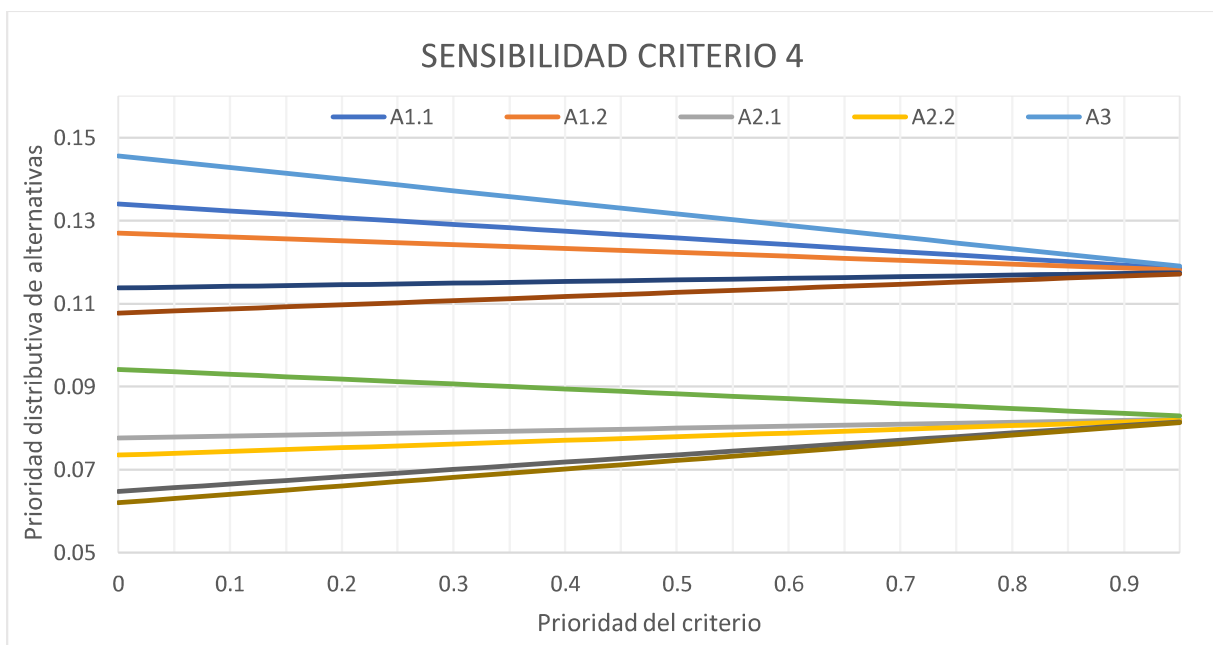


Figura 16. Sensibilidad del criterio 4: Costes de explotación. Fuente: programa SuperDecisions.

Mientras que el criterio para el cual la variación de su prioridad afecta más a las alternativas es el criterio 2: Dificultad de instalación (Tabla 17), y este criterio no es tan importante como los dos anteriores. Por lo tanto, en este caso el análisis de sensibilidad es muy estable.

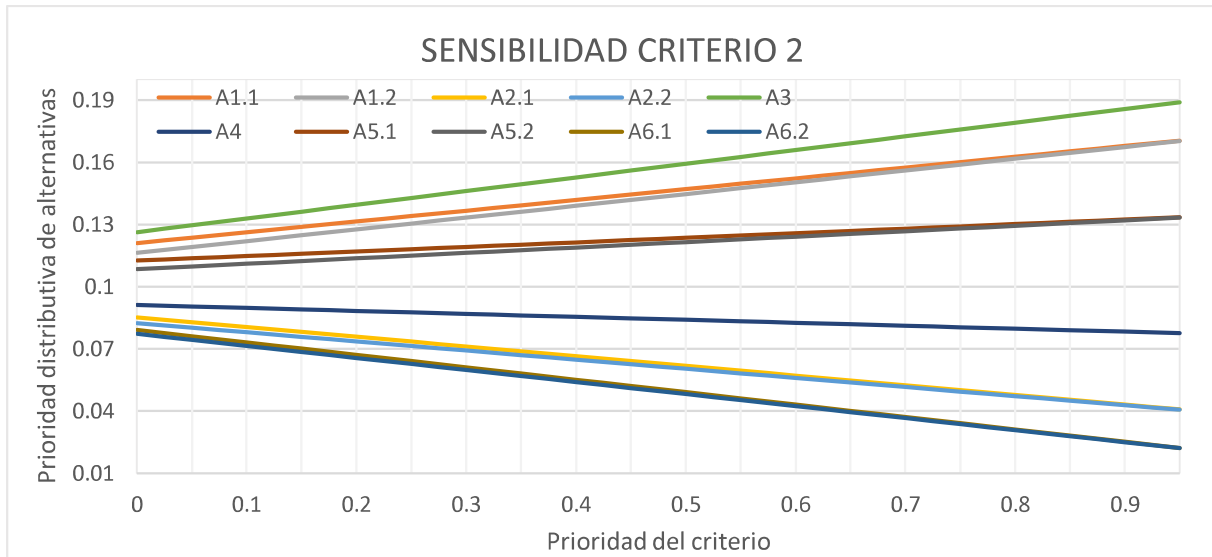


Figura 17. Sensibilidad criterio 2.

7) CONCLUSIONES

Se concluye que se han alcanzado los objetivos planteados al principio del documento.

A lo largo de este proyecto, se han calculado tanto las demandas de ACS como de climatización mediante el aprendizaje y uso de los programas CHEQ4 y Clima de Atecyr respectivamente. De esta manera, se ha obtenido una demanda anual de 8677 kWh para el ACS, un pico de potencia de 72,47 kW en agosto para las cargas de refrigeración y uno de 60,92 kW en enero para las cargas de calefacción, datos indicativos de que para el posterior seleccionado de equipos bastaría con sistemas pequeños de media-baja potencia.

Con ello, ha sido posible realizar un seleccionado de equipos para las distintas combinaciones planteadas con el fin de cubrir las demandas calculadas, analizando cada sistema a utilizar en los catálogos de elementos de Baxi Calefacción para los equipos de ACS y Mitsubishi Electric para los equipos de climatización, y que de esta manera sea posible observar las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas.

Por último, una vez calculadas las demandas y realizado el seleccionado de equipos, se ha realizado un estudio para seleccionar la mejor alternativa, mediante el aprendizaje y uso del Analytic Hierarchy Process (AHP). De esta manera, como se pensaba durante la elaboración del proyecto, ha sido posible observar una clara tendencia positiva a favor del sistema por aerotermia en el lado del ACS y del sistema por Splits en el lado de la climatización, en parte debido a los menores costes de instalación/inversión y explotación respecto a las demás alternativas, los cuales son los criterios más determinantes según el estudio realizado. Además, se ha comprobado la estabilidad de los resultados obtenidos mediante un análisis de sensibilidad a través del programa SuperDecisions.

Por lo tanto, la combinación que reúne la mejor parte tanto de climatización como de ACS es la combinación 3, por lo que finalmente es la combinación seleccionada.

8) BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. (En línea). Retrieved May 2, 2019, from <http://www.avebiom.org/es/>

Baxi Calefacción- Fabricante de sistemas de climatización. (En línea). Retrieved April 10, 2019, from <https://www.baxi.es/>

Catálogo informático de elementos constructivos (CEC). Referido al Código Técnico de la Edificación (CTE). (En línea). Retrieved March 28, 2019, from <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-catalogo-informatico-elementos-constructivos.html>

CHEQ4. Herramienta del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (En línea). Retrieved March 28, 2019, from Orden FOM/1635/2013 website: <http://cheq4.idae.es/>

Código técnico de la edificación (CTE). (En línea). Retrieved March 28, 2019, from 17/11/2006 website: <https://www.codigotecnico.org/>

Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) approved by Real Decreto 314/2006, from <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

Documento Básico de Seguridad en caso de incendio (DB-SI) approved by Real Decreto 314/2006, from <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>

Fuentes Bagues, D; Fuentes Bagues, J. L.; Sanchis Llopis, A.; Verdejo López, Y; Aerothermy as an alternative to solar contribution for Domestic Hot Water (DHW) in tertiary building. 21th International Congress on Project Management and Engineering Cádiz, 12th - 14th July 2017

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (En línea.). Retrieved March 28, 2019, from 1984: <https://www.idae.es/>

IVE | Instituto Valenciano de la Edificación. (En línea). Retrieved May 9, 2019, from 1986: <https://www.five.es/>

MITSUBISHI ELECTRIC ESPAÑA. (En línea). Retrieved April 10, 2019 from: <https://es.mitsubishielectric.com/es/>

Pinazo Ojer, J. M., Soto Francés, V., & Sarabia Escrivá, E. Programa Clima de Atecyr. Retrieved March 28, 2019, from <http://www.calculaconatecyr.com/vpclima.php>

Preciogas by Selectra. (En línea). Retrieved May 2, 2019, from <https://preciogas.com/>

Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) approved by Real Decreto 1027/2007. Retrieved March 28, 2019, from <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios>

Saaty, Rozan; Saaty, Thomas L. Super Decisions (1996). Retrieved from <https://www.superdecisions.com/>

"T.L. Saaty Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process (1st ed.), RWS Publications (1994)"

Servicio de Gestión de la I+D+i: UPV. (En línea). Retrieved May 23, 2019, from <http://www.upv.es/entidades/SGI/indexc.html>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

PRESUPUESTO

AUTOR: ADRIÁN ESPINOSA GARCÍA

TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

COTUTOR: PABLO ARAGONÉS BELTRÁN

Curso Académico: 2018-19

1) NECESIDAD DEL PRESUPUESTO

Para realizar una correcta elaboración del TFG, es necesario hacer una valoración económica del trabajo realizado. Por este motivo, y a efectos académicos, se va a realizar una estimación del presupuesto de la elaboración este proyecto.

2) ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

Para la elaboración de este presupuesto se han utilizado los precios indicados en el documento del coste promedio para personal de plantilla en solicitudes de ayudas públicas, del Servicio de Gestión de la I+ D + i de la Universidad Politécnica de Valencia.

CUADRO DE PRECIOS BÁSICOS		
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)
<i>MANO DE OBRA</i>		
Horas	Ayudante	15,64
<i>MAQUINARIA</i>		
Horas	Ordenador	0,058
<i>MATERIAL</i>		
Unidades	Fotocopias en papel	0,025

El precio de la unidad de fotocopia se ha obtenido de la reprografía de la Universidad Politécnica de Valencia.

Para el cálculo del precio del ordenador, se ha empleado la siguiente ecuación:

$$\text{Precio} = C / (Dl * h * V)$$

Donde

C es el coste de adquisición del equipo, 700 €.

DI son los días laborables al año, 251 días/año.

h son las horas de uso diario, 8 horas/día.

V es la vida útil del equipo, 6 años.

Por lo que el precio es de: $Precio = 700 / (251 * 8 * 6) = 0,058 \text{ €/hora}$

Para obtener el estado de mediciones, se ha de tener en cuenta que la duración estimada de la elaboración del TFG son 300 h, y que se han utilizado cerca de 300 hojas impresas contando versiones de prueba de la versión final.

Para realizar el cálculo del coste total del proyecto se utilizará un porcentaje de gastos generales del 10% y un porcentaje de beneficio industrial del 6%. Además, el porcentaje del IVA es del 21%.

MEDICIONES				
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	CANTIDAD	IMPORTE (€)
Horas	Ayudante	15,64	300	4692
Horas	Ordenador	0,058	300	17,4
Unidades	Papel y tinta	0,025	300	7,5
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)				4717,9
Gastos generales (0,10 x PEM)				471,79
Beneficio industrial (0,06 x PEM)				283,07
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) (PEM + Gastos generales + Beneficio Industrial)				5472,76
IVA (0,21 x PEC)				1149,27
Presupuesto de inversión (PEC + IVA)				6622,04

El presupuesto de inversión asciende a 6.622,04 €.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

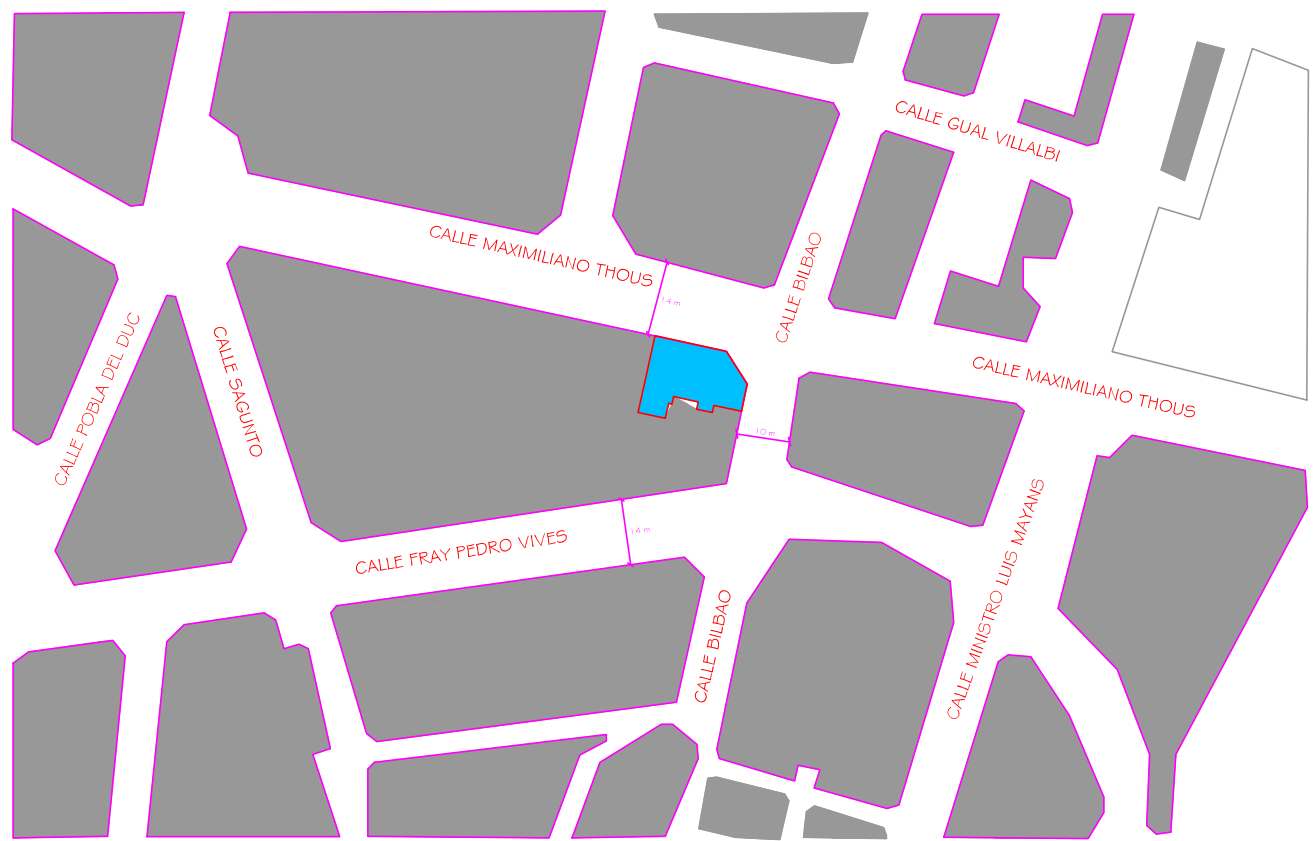
PLANOS

AUTOR: ADRIÁN ESPINOSA GARCÍA

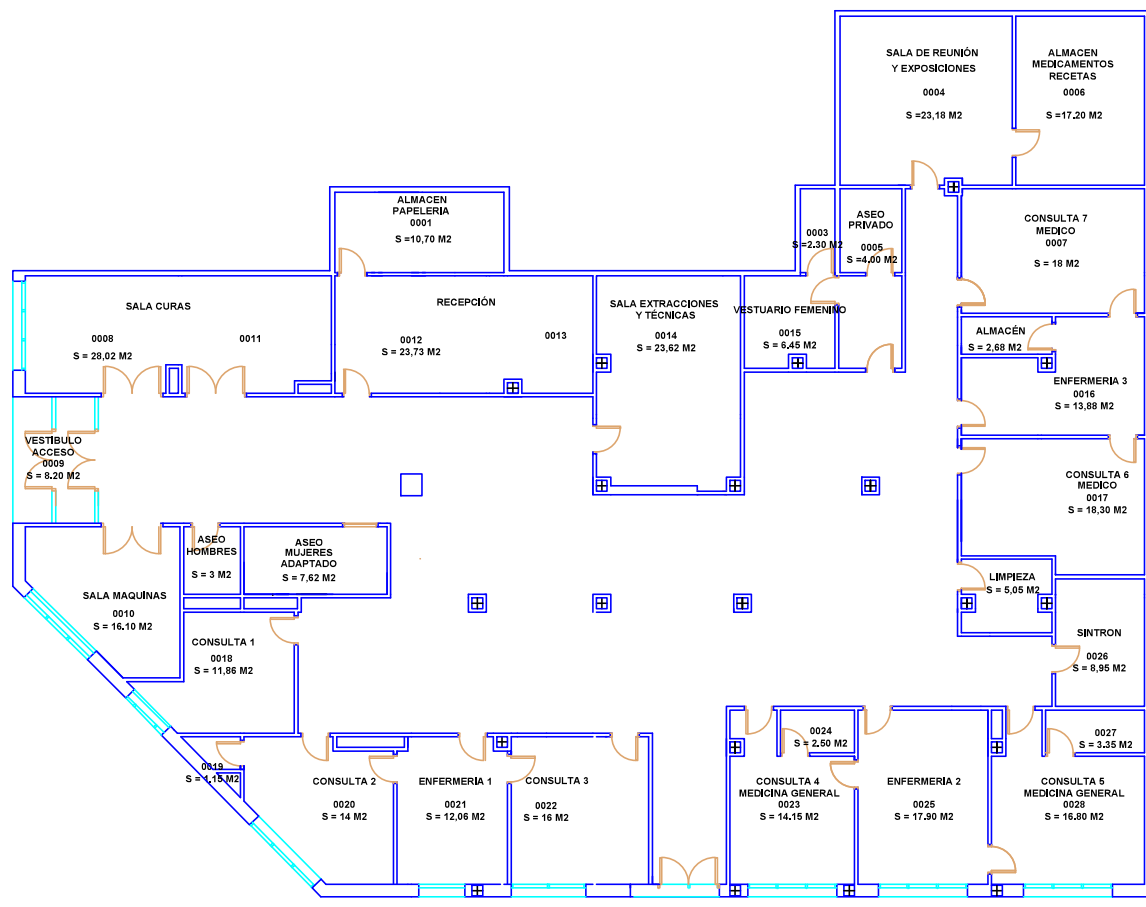
TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

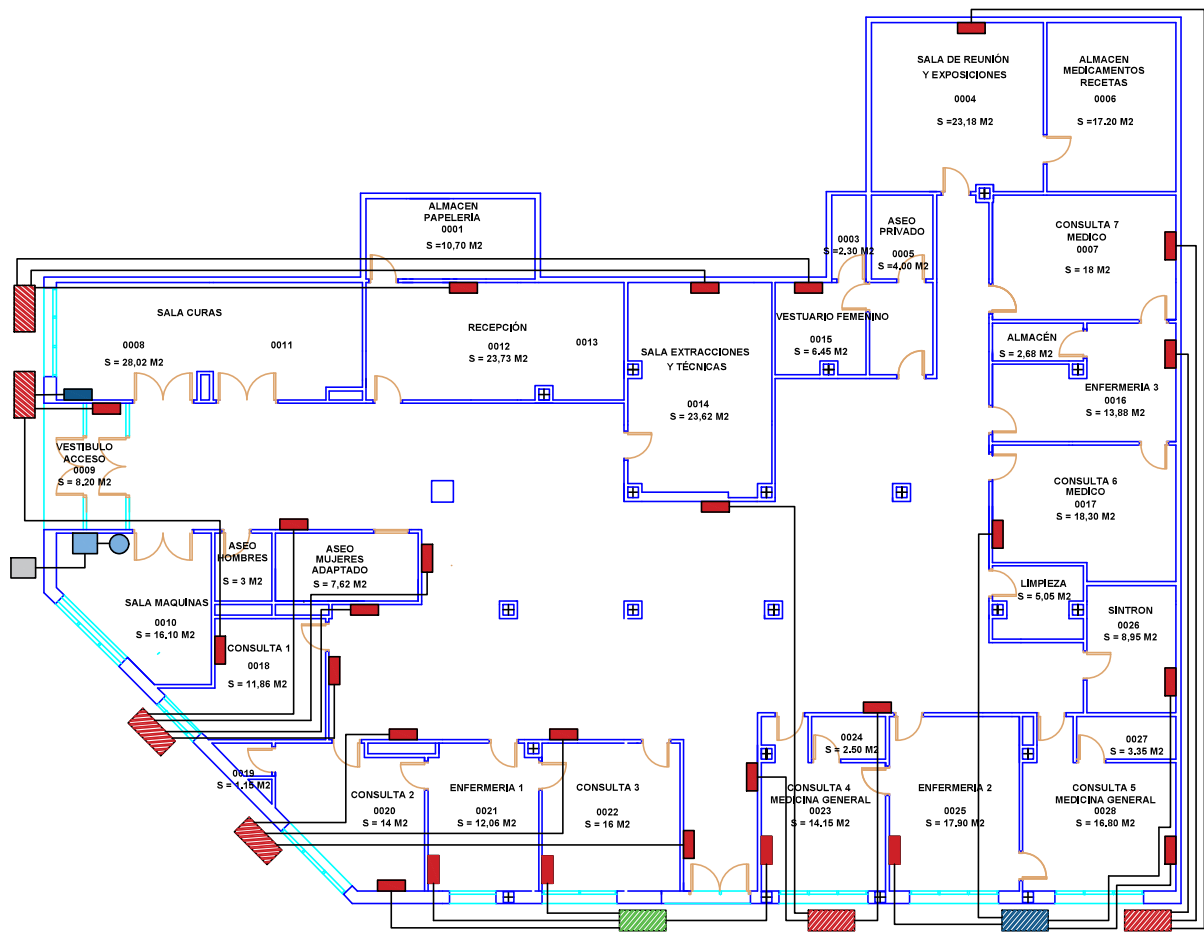
COTUTOR: PABLO ARAGONÉS BELTRÁN

Curso Académico: 2018-19



	Proyecto: ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS MEDIANTE AHP DE LA INSTALACIÓN DE ACS Y CLIMATIZACIÓN DE UN CENTRO DE SALUD DE 600 M ² EN LA LOCALIDAD DE VALENCIA	Plano: Emplazamiento del Centro de Salud	Fecha: Junio 2019	Nº Plano: 1
		Autor: Adrián Espinosa García	Escala: 1:1000	





LEYENDA

Sistemas de climatización

UNIDADES INTERIORES	
SÍMBOLO	MODELO
[Red square]	MSZ-AP25VG
[Blue square]	MSZ-AP42VG

UNIDADES EXTERIORES	
SÍMBOLO	MODELO
[Red diagonal lines]	MXZ-3F68VF
[Blue diagonal lines]	MXZ-4F72VF
[Green diagonal lines]	MXZ-4F80VF

Sistemas de ACS

SÍMBOLO	MODELO
[Blue square]	HIDROBOX DUO EHT25-V/M2C
[Blue circle]	DEPÓSITO ACUMULADOR GXE-5600
[Grey square]	UNIDAD EXTERIOR FUHZ-FRP71WA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES



Proyecto: ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS MEDIANTE AHP DE LA INSTALACIÓN DE ACS Y CLIMATIZACIÓN DE UN CENTRO DE SALUD DE 600 M² EN LA LOCALIDAD DE VALENCIA

Plano: Distribución en planta del Centro de Salud con equipos de ACS y climatización

Autor: Adrián Espinosa García

Fecha: Junio 2019

Escala: 1:150

Nº Plano:

3



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ANEXO

AUTOR: ADRIÁN ESPINOSA GARCÍA

TUTOR: JOSÉ LUIS FUENTES BARGUES

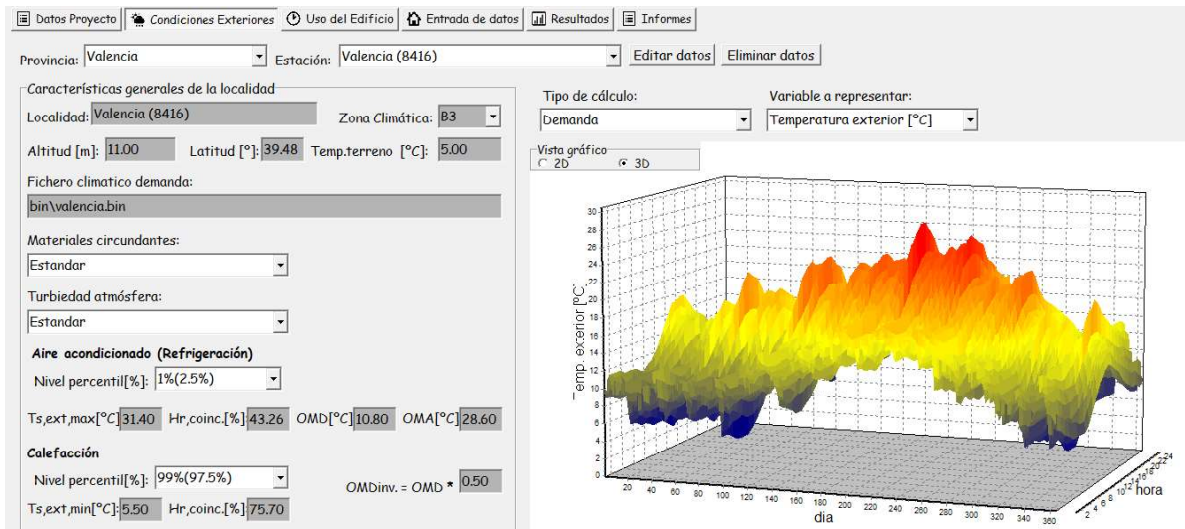
COTUTOR: PABLO ARAGONÉS BELTRÁN

Curso Académico: 2018-19

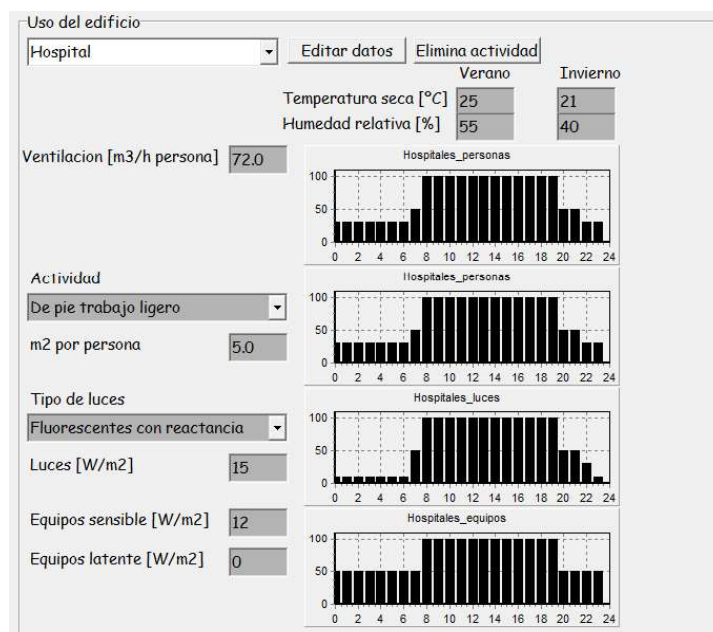
1) INFORMACIÓN ADICIONAL PROGRAMA CLIMA

En este capítulo se introduce mayor información sobre el proceso para obtener las cargas térmicas en el programa Clima.

En la siguiente figura se pueden observar las condiciones exteriores del edificio para su localización:



Mientras que para la figura mostrada a continuación se indica el uso del edificio:



2) CUESTIONARIO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS PRIORIDADES DE LOS CRITERIOS

C1 - Criterio de Costes de inversión/instalación C2 - Dificultad de instalación

¿Cuál es más importante?									
x	C1	<input type="checkbox"/>	C2						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	x	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C1 - Criterio de Costes de inversión/instalación C3 - Mantenimiento técnico de los sistemas

¿Cuál es más importante?									
x	C1	<input type="checkbox"/>	C3						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	x	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C1 - Criterio de Costes de inversión/instalación C4 - Costes de explotación.

¿Cuál es más importante?									
x	C1	<input type="checkbox"/>	C4						
¿Cuánto más importante?									
x	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C1 - Criterio de Costes de inversión/instalación C5 - Contaminación del medio ambiente.

¿Cuál es más importante?									
x	C1	<input type="checkbox"/>	C5						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	x	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C2 - Dificultad de instalación C3 - Mantenimiento técnico de los sistemas

¿Cuál es más importante?									
x	C2	<input type="checkbox"/>	C3						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	x	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C2 - Dificultad de instalación C4 - Costes de explotación.

¿Cuál es más importante?									
<input type="checkbox"/>	C2	x	C4						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	x	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C2 - Dificultad de instalación C5 - Contaminación del medio ambiente.

¿Cuál es más importante?									
x	C2	<input type="checkbox"/>	C5						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	x	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C3 - Mantenimiento técnico de los sistemas C4 - Costes de explotación.

¿Cuál es más importante?									
<input type="checkbox"/>	C3	x	C4						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	x	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C3 - Mantenimiento técnico de los sistemas C5 - Contaminación del medio ambiente.

¿Cuál es más importante?									
x	C3	<input type="checkbox"/>	C5						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	x	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)		

C4 - Costes de explotación C5 - Contaminación del medio ambiente.

¿Cuál es más importante?									
<input checked="" type="checkbox"/>	C3	<input type="checkbox"/>	C5						
¿Cuánto más importante?									
<input type="checkbox"/>	Igual (1)	<input type="checkbox"/>	Moderado (3)	<input type="checkbox"/>	Fuerte (5)	<input type="checkbox"/>	Muy Fuerte (7)	<input type="checkbox"/>	Extremo (9)
	<input type="checkbox"/>	Entre I-M (2)	<input type="checkbox"/>	Entre M-F (4)	<input type="checkbox"/>	Entre F-MF (6)	<input checked="" type="checkbox"/>	Entre MF-E (8)	