



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Estudio de viabilidad técnico-económico y priorización de las alternativas mediante AHP de la instalación de ACS centralizada para un edificio de 13 viviendas y locales comerciales.

Autor:

Carles Torregrosa Calvo

Tutor:

Jose Luis Fuentes Bargues

Departamento de Proyectos de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Universidad Politécnica de València

València, 2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de viabilidad técnico-económico y priorización de las alternativas mediante AHP de la instalación de ACS centralizada para un edificio de 13 viviendas y locales comerciales.



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA



Agradecimientos

Debo agradecer todo el apoyo a lo largo de mis estudios del GITI a toda mi familia, mi madre Salomé, mi padre José Ramón y mi hermana Carla. También a aquella persona que me acompaña desde hace años en mi aventura de la vida, Blanca. Gracias por el apoyo y soportarme en los peores momentos. Por último a mi tutor Jose Luis Fuentes que ha tenido bastante paciencia conmigo y me ha ayudado con la realización del trabajo.



Resumen

El propósito de este proyecto es valorar un sistema de generación de agua caliente sanitaria para un bloque de 13 viviendas y sus locales comerciales situado en la población de Burjassot, Valencia. Para ello se ha estudiado diferentes posibilidades de suministro de energía para calentar el agua, tanto de energía convencional como energías renovables. Siempre cumpliendo las indicaciones del Código Técnico de la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Para su realización se han tenido en cuenta el emplazamiento del edificio y la característica de las instalaciones anteriores. En su última etapa se utilizara la metodología AHP para la selección de las mejores opciones.



Resum

El propòsit d'aquest projecte és valorar un sistema de generació d'aigua calenta sanitària per a un bloc de 13 habitatges i els seus locals comercials situat a la població de Burjassot, València. Per a haver-ho estudiat diferents possibilitats de consum d'energia per calentar l'aigua, tant d'energia convencional com d'energies renovables. Sempre complint les Indicacions del Codi Tècnic de l'Edificació i el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis. Per a la seva realització, s'ha tingut en compte l'emplaçament del edifici i la característica de les instal·lacions anteriors. En la seva última etapa s'utilitzarà la metodologia AHP per a la selecció de les millors opcions.



Abstract

The purpose of this project is to evaluate a system for the generation of hot water for a building of 13 homes and their commercial premises located in the town of Burjassot, Valencia. To do this, we have studied different possibilities of energy supply to heat water, both conventional energy and renewable energy. Within the directions of the Technical Building Code and the Regulation of Thermal Installations in Buildings. The building site and the characteristics of the previous installations have been taken into account for its execution. In its final phase, the AHP methodology will be used to select the best options.



Índice General

- 1. Memoria**
- 2. Presupuesto**
- 3. Planos**
- 4. Anexos**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



Índice de la memoria

Capítulo 1 Introducción.....	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Objeto y Alcance del Proyecto.....	15
1.3 Justificación.....	16
Capítulo 2 Edificio Objeto de la Instalación	17
2.1 Emplazamiento	17
2.2 Características del Edificio	18
2.3 Características de las Instalaciones actuales del Edificio	18
Capítulo 3 - Diseño de la Instalación de ACS.....	21
3.1 Normativa de Aplicación.....	21
3.2 Cálculo de la Demanda de ACS	23
3.3 Calculo de energía necesaria para calentar el agua.....	25
3.4 Diseño de la Instalación de ACS común del Edificio.....	28
3.5 Dimensionado de los Sistemas de Generación de ACS centralizada	31
Combinaciones 1 – 50% energía solar + Resto energías complementarias	31
Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural	34
Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica	36
Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets	38
Combinaciones 2 – Máxima energía solar + Resto energías complementarias	40
Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural	41
Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica	41
Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets	42
Combinación 3 – 100% Caldera Pellets	42
Combinación 4 – 100% Aerotermia	43
Capítulo 4 – Estudio de viabilidad económica y medioambiental.	48
4.1 Presupuesto de Instalación de los diferentes sistemas de generación	48
Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural	48
Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica	49
Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets	49
Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural	50
Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica	50



Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets	51
Combinación 3 – 100% Caldera Pellets	51
Combinación 4 – 100% Aerotermia	52
Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia.....	52
Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia	53
4.2 Presupuesto de Explotación.....	54
Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural	55
Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica	56
Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets	56
Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural	56
Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica	57
Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets	57
Combinación 3 – 100% Caldera Pellets	58
Combinación 4 – 100% Aerotermia	58
Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia.....	59
Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia	59
4.3 Estudio de emisiones de CO ₂ de las diferentes combinaciones de generación.....	60
Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica	62
Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets	62
Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural	63
Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica	63
Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets	63
Combinación 3 – 100% Caldera Pellets	64
Combinación 4 – 100% Aerotermia	64
Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia.....	65
Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia	65
4.4 Análisis y elección de la mejor combinación.....	66
C1. Criterio de inversión	69
C2. Dificultad de instalación	70
C3. Mantenimiento técnico de los sistemas.....	72
C4. Coste de explotación	73
C5. Emisiones de CO ₂	74
Resultados	75
Capítulo 5 – Conclusiones	77



5.1	Conclusión.....	77
Capítulo 6 – Referencias bibliográficas.....		79
1.1	Necesidad del presupuesto.....	80
1.2	Elaboración del presupuesto	80
Anexo 1 – Cuestionario para establecer las prioridades.....		82
Anexo 2 – Planos no propios del estudio.....		86



Índice de Tablas

Tabla 1 Contribución solar mínima anual para ACS en %	21
Tabla 2 Demanda de referencia a 60°C	24
Tabla 3 Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado	24
Tabla 4 Valor del factor de centralización.....	25
Tabla 5 Datos técnicos bomba Bomba Hasa Nizaspeed 4.5M	29
Tabla 6 Datos técnicos interacumulador AS 1500-1 E	29
Tabla 7 Datos técnicos bomba circulación SB-50 XA	30
Tabla 8 Mezcla de Propilengicol con agua (% en volumen con agua bidestilada desionizada).....	30
Tabla 9 Resumen datos de energía.....	31
Tabla 10 Límite de pérdidas en la energía solar térmica	33
Tabla 11 Datos técnicos paneles solares Mediterráneo 250	34
Tabla 12 Datos técnicos caldera gas natural Power HT Plus 90 F.....	36
Tabla 13 Datos técnicos caldera CML 15	38
Tabla 14 Datos técnicos caldera de biomasa Bioclass HM 66.....	39
Tabla 15 Datos técnicos caldera pellets Bioclass HM 25/66.....	42
Tabla 16 Datos técnicos aerotermia PUAZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C	45
Tabla 17 Resumen combinaciones y consumos.....	47
Tabla 18 Coste instalación combinación 1.1.....	48
Tabla 19 Coste de instalación de la combinación 1.2	49
Tabla 20 Coste instalación combinación 1.2.....	50
Tabla 21 Coste instalación combinación 2.1.....	50
Tabla 22 Coste instalación combinación 2.2.....	51
Tabla 23 Coste instalación combinación 2.3.....	51
Tabla 24 Coste instalación combinación 3.....	52
Tabla 25 Coste instalación combinación 4.....	52
Tabla 26 Coste instalación combinación 5.1.....	53
Tabla 27 Coste instalación combinación 5.2.....	53
Tabla 28 Resumen de costes de instalación.	54
Tabla 29 Índice de precios de la energía (€/kWh)	55
Tabla 30 Resumen de costes de explotación.....	60
Tabla 31 Factor de emisión de las fuentes de energía.....	61
Tabla 32 Emisiones de CO ₂ combinación 1.1	61
Tabla 33 Emisiones de CO ₂ combinación 1.2	62
Tabla 34 Emisiones de CO ₂ combinación 1.3	62
Tabla 35 Emisiones de CO ₂ de la combinación 2.1	63
Tabla 36 Emisiones de CO ₂ de la combinación 2.3	64
Tabla 37 Emisiones de CO ₂ de la combinación 3	64
Tabla 38 Emisiones de CO ₂ de la combinación 4	64
Tabla 39 Emisiones de CO ₂ de la combinación 5.1	65
Tabla 40 Emisiones de CO ₂ de la combinación 5.2	65



Tabla 41 Valores para las combinaciones del método AHP.....	67
Tabla 42 Cálculo del vector de prioridades.....	68
Tabla 43 Valores índice de constancia (RI).....	68
Tabla 44 Cálculo de valores idealizados del criterio 1	70
Tabla 45 Valores para las combinaciones del método AHP para C2.....	71
Tabla 46 Cálculo de valores idealizados del criterio 2	71
Tabla 47 Ajuste de ratings criterio 3.	72
Tabla 48 Cálculo de valores idealizados del criterio 3	72
Tabla 49 Rangos y valoración de ratings.....	73
Tabla 50 Cálculo de valores idealizados del criterio 4.	74
Tabla 51 Cálculo de valores idealizados del criterio 5	75
Tabla 52 Resultados análisis AHP.....	76
Tabla 53 Presupuesto del estudio.....	81



Índice de Figuras

Figura 1 Evolución del porcentaje de energías renovables	14
Figura 2 Porcentaje de consumo de energías renovables en el sector del frío y calor.....	14
Figura 3 Emplazamiento del edificio.....	17
Figura 4 Sistema de ACS por viviendas	19
Figura 5 Sistema de ACS centralizado	20
Figura 6 Mapa de las zonas climáticas españolas	22
Figura 7 Resultados CHEQ 4.....	26
Figura 8 Demanda de energía por meses	27
Figura 9 Límites proporcionados por el CHEQ4 para sustituir la energía solar térmica	27
Figura 10 Plano de la azotea	28
Figura 11 Esquema generación energía solar térmica	32
Figura 12 Datos CHEQ4 con el 50% aporte solar	34
Figura 13 Esquema caldera gas natural de condensación	35
Figura 14 Ciclo de la biomasa.....	38
Figura 15 Datos CHEQ4 con el 66% de contribución solar.....	40
Figura 16 Datos CHEQ4 con un 66% de contribución solar por meses.....	41
Figura 17 Ciclo termodinámico aerotermia	44
Figura 18 Gráfico de emisiones de CO ₂	66



Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción

El trabajo realizado se va a centrar en el estudio de sistemas de generación de agua caliente sanitaria (ACS) de un bloque de viviendas para modernizar sus instalaciones y poder cumplir el Código Técnico de la Edificación (CTE). Para que se consiga cumplir el CTE, que requiere de una cierta cantidad solar mínima con la que se debe calentar el agua pero el CTE también establece que se puede sustituir ésta tecnología por otra fuente de energía renovable con su correspondiente justificación. Para establecer esta contribución se estudiará en función de la zona climática y del consumo anual de ACS. Con ello no se lograra solamente modernizar las instalaciones sino que también se conseguirá reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, ya que en este es un problema social cada vez más preocupante ya que está tomando mayor relevancia con el paso del tiempo.

Para poner solución a este problema la Unión Europea fue una de las impulsoras de acuerdos muy importantes como Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) o el más reciente Acuerdo de París en el año 2015. Este acuerdo fue firmado por 195 países con medidas para combatir el cambio climático. Su principal objetivo es poner el límite del calentamiento global por debajo de 2°C en el año 2100. Para ello se estableció en la UE las medidas del 20/20/20:

- Reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernaderos y consumo de energías primarias.
- Aumentar la producción de energía mediante fuentes de energía renovables un 20%.
- Mejorar la eficiencia energética en las edificaciones.

Estas medidas tienen como referencia el consumo el año 1990 y con el objetivo de cumplir los requisitos en el año 2020.

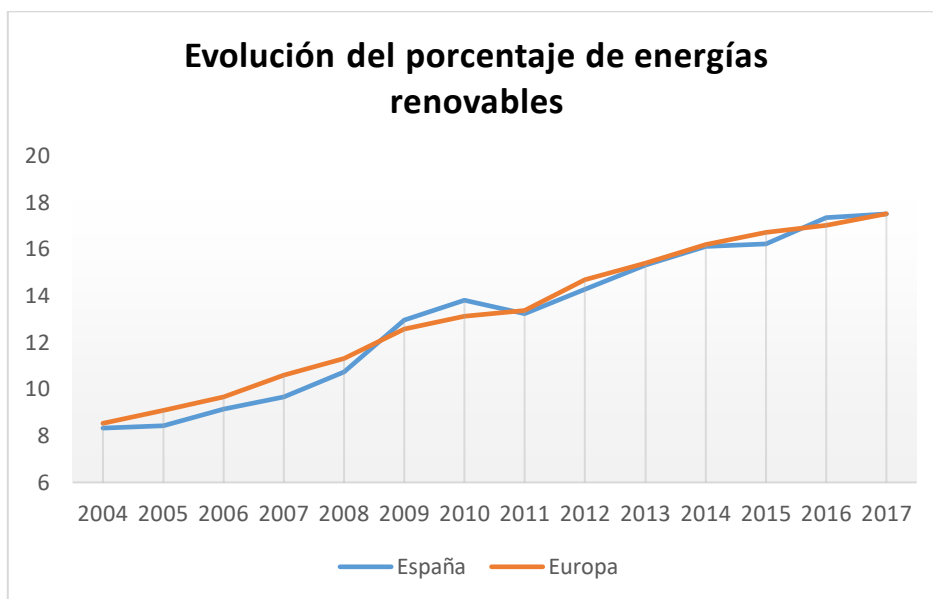


Figura 1 Evolución del porcentaje de energías renovables

Uno de los sectores que más consumo de energía genera de aproximadamente un 50% del consumo total en Europa y aproximadamente un 35% en España es el sector de la producción del calor y frío. Dentro de este sector se encuentra la producción de ACS en edificios. Aunque su consumo es grande hasta la última década no se han invertido esfuerzos para aumentar la penetración de las energías renovables y así reducir la generación de CO₂.

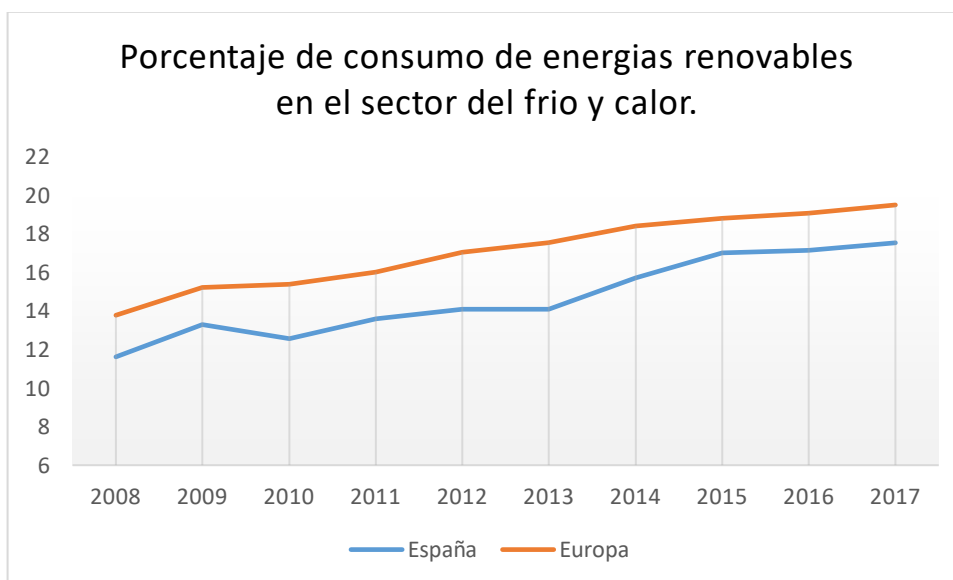


Figura 2 Porcentaje de consumo de energías renovables en el sector del frío y calor.

Estudiaremos diferentes fuentes de energía renovable y convencional para elegir la que mejor se adapte a las características del edificio, a las necesidades de suministro y la



opción más viable económicamente para los usuarios con el método Analytic Hierarchy Process (AHP).

En los últimos años han aparecido diversas fuentes de energía con el fin de producir calor. En este proyecto se utilizará ese calor producido para conseguir Agua Caliente Sanitaria (ACS). Entre las nuevas tecnologías que han aparecido recientemente se encuentra la aerotermia o las calderas que utilizan fuentes de energía renovable como la biomasa, además de la más utilizada como es la energía térmica solar.

La aerotermia se considera como una fuente de energía renovable que aprovecha la energía almacenada en forma de calor en el ambiente para utilizarla en otros usos (Unión Europea, 2009). Esta tecnología aprovecha la temperatura del aire para su transformación en energía, para ello es necesario un aporte reducido de energía eléctrica. En este caso la energía generada sería empleada para la producción de ACS.

La producción de energía mediante biomasa consiste en la transformación de energía térmica procedente de materia procedente de materias primas de desechos naturales mediante un proceso de combustión. Las calderas de biomasa funcionan con combustibles basados en recursos producidos por restos naturales como el pellet, leña o hueso de aceituna. Para poder utilizarlo como sustitutivo de la energía solar térmica según el CTE tendremos que controlar las emisiones de CO₂ que se producirán y que no supere ciertos límites.

La energía solar térmica es la más utilizada en España como energía renovable para la producción de ACS, debido a las numerosas horas de sol que al año que penetran en la Península Ibérica. Esta tecnología consiste en aprovechar la energía que llega al a Tierra procedente del Sol y producir calor. Con ello se puede aprovechar para cocinar alimentos o en lo que concierne a este proyecto, para la producción de ACS.

1.2 Objeto y Alcance del Proyecto

El objeto del trabajo es realizar el estudio de los sistemas de generación para establecer un sistema de ACS centralizado en un edificio de Burjassot (València). Este estudio se realizara cumpliendo la normativa del Código Técnico de la Edificación y del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Para ello se estudiarán diferentes alternativas de obtención de la energía para calentar el agua, entre las diferentes posibilidades que el mercado ofrece, en cualquier caso se tomará una fuente de energía renovable para poder cumplir el CTE y así reducir las emisiones contaminantes a la atmosfera.

Este proyecto afectará a todos los usuarios tanto los residentes de las viviendas como los locales comerciales que tiene y posibles inquilinos en un futuro. Se estudiar una red centralizada para la distribución de la ACS. Se logrará así una reducción de costes de



explotación de la instalación, una reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y la modernización de las instalaciones de producción de ACS en el edificio.

1.3 Justificación

La realización del proyecto se va a seguir por diferentes motivos enumerados a continuación.

- Modernización del sistema de distribución de ACS, ya que el sistema que existe actualmente en el edificio es de calentadores individuales por viviendas.
- Valoración de diferentes sistemas de generación de energía para conseguir ACS.
- Centralización de la producción de agua caliente sanitaria.
- Menor producción de gases contaminantes a la atmósfera con los nuevos sistemas de producción de ACS.
- Realización del trabajo de fin de grado (TFG) como última tarea del grado en tecnologías industriales (GITI).

Capítulo 2 Edificio Objeto de la Instalación

2.1 Emplazamiento

El edificio en el cual vamos a centrar el proyecto se encuentra en la población de Burjassot en la provincia de València, se sitúa en el centro de la ciudad entre la calle José Carsi y la calle del Mestre Lope de esta población.

En la Figura 3 obtenida de ‘Google Maps’ podemos ver exactamente la localización del edificio entre las dos calles mencionadas en el párrafo anterior.



Figura 3 Emplazamiento del edificio

Como podemos observar en la imagen el edificio está orientado en dirección noroeste en su fachada principal y sudeste en la fachada trasera.

2.2 Características del Edificio

El edificio donde se va a realizar el proyecto es un bloque de viviendas con cinco plantas, una terraza y dos sótanos. Se trata de un edificio entre medianeras y por los dos extremos tiene dos entradas desde dos calles paralelas, José Carsi y Mestre Lope.

En sus cinco plantas se pueden encontrar trece viviendas en total y tres locales comerciales. Existen cinco tipos diferentes de viviendas en el edificio. Hay ocho viviendas muy similares con tres dormitorios situadas en la primera y segunda planta, se llamarán viviendas tipo A, otra vivienda situada en la tercera planta también con tres dormitorios que se va a denominar vivienda tipo B, con entrada en la tercera planta existen dos viviendas con dos plantas, son diferentes por el número de dormitorios, una tiene tres dormitorios, la cual denominaremos vivienda tipo E y la otra de cuatro dormitorios se denominara tipo D y por último en la cuarta planta y con conexión con la tercera existen dos viviendas que están entre las plantas tres y cuatro con tres dormitorios cada una. Los tres locales comerciales actualmente están desocupados por lo que para un correcto dimensionamiento del consumo de ACS tomaremos diferentes ocupaciones para ellos en futuros apartados. En la última planta, la terraza, es donde se procederá a diseñar la instalación de la centralización de ACS.

2.3 Características de las Instalaciones actuales del

Edificio

El edificio actualmente tiene el clásico sistema de calentamiento de agua individualizado por vivienda, con calentadores de gas para sus consumos diarios. Estos calentadores son tecnología antigua y bastante contaminante.

Se pretende sustituir este sistema individualizado de producción de ACS por otro sistema centralizado. Para ello se va a exponer las ventajas e inconvenientes de los sistemas centralizados frente a un sistema de generación de ACS por viviendas.

Algunas de las ventajas del sistema centralizado son:

- Se utilizan salas técnicas para las instalaciones, reduciendo así el espacio ocupado en las viviendas y locales.
- Se aprovecha mejor la instalación centralizada solar en ACS que si la instalación solar fuera individualizada por usuario.
- Permite usar factores de simultaneidad en el cálculo y diseño, por lo tanto el consumo de energía se reduce.
- Las calderas centralizadas tienen una vida más larga que las calderas individuales
- Los sistemas centralizados son más seguros que los sistemas individuales.

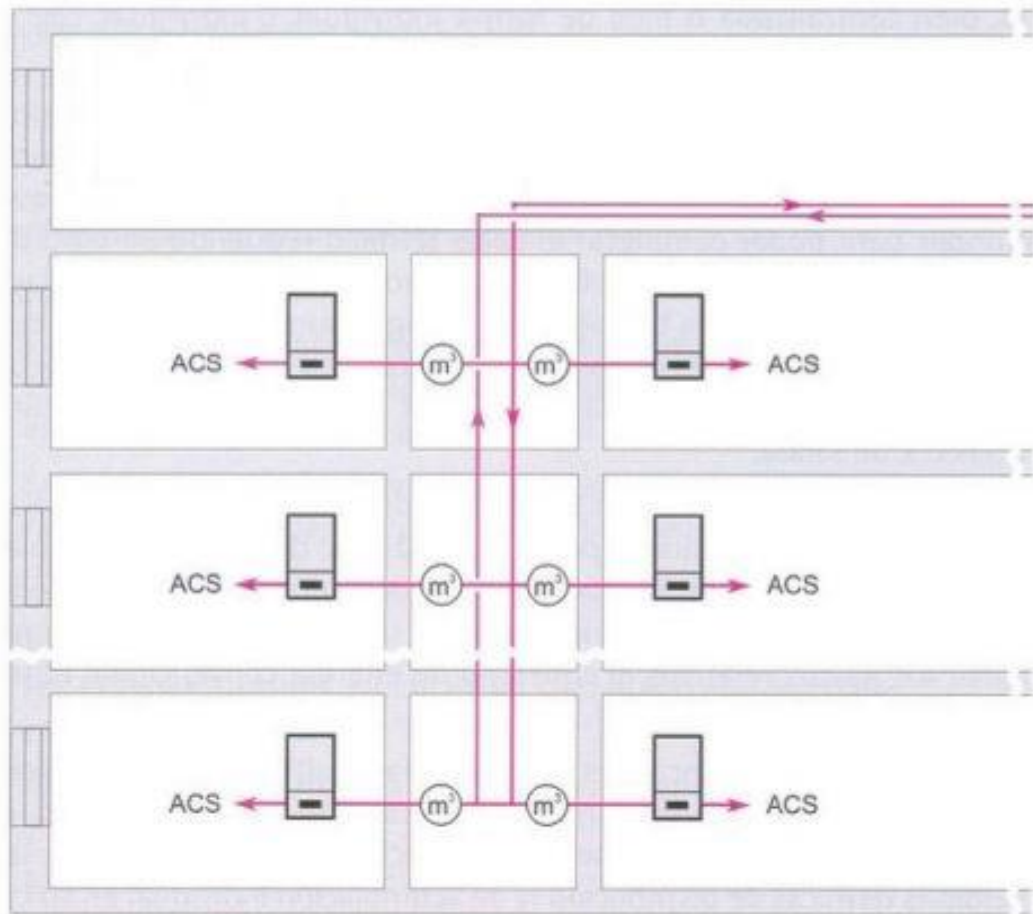


Figura 4 Sistema de ACS por viviendas

Inconvenientes

- Posibles desequilibrios hidráulicos en el consumo en ciertos momentos del año.
- Mayor control sobre el uso en los sistemas individuales por parte del usuario final.
- Mayor coste de instalación y mano de obra inicial.

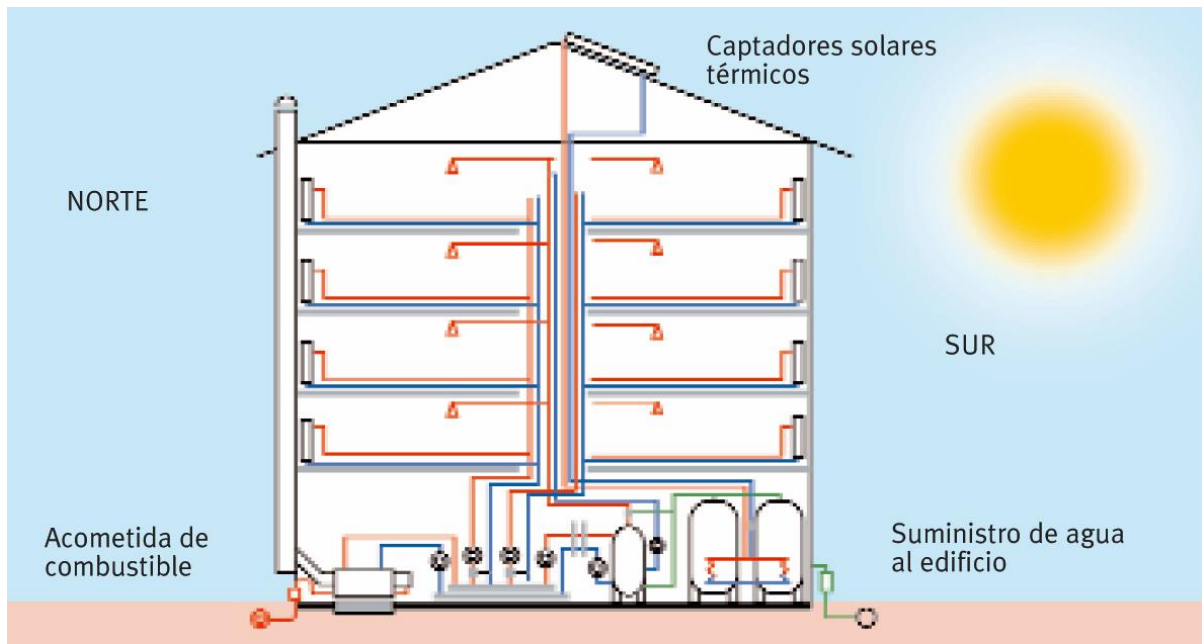


Figura 5 Sistema de ACS centralizado.

Fuente: <https://www.certificadosenergeticos.com/>

Capítulo 3 - Diseño de la Instalación de ACS

3.1 Normativa de Aplicación

El trabajo se va a realizar conforme a la normativa vigente, para el caso de ACS estará basado en el “Documento Básico de Ahorro de energía” principalmente en el apartado HE4. En este apartado se indica todo el procedimiento para el cálculo de ACS en instalaciones o edificios de nueva construcción o reformas donde la producción de ACS sea superior a 50 l/día.

La contribución solar mínima para el edificio estudiado debe ser del 50% ya que de acuerdo con la Tabla 1 ya que la población de Burjassot se encuentra en la zona climática IV y el edificio demanda entre 50 y 5.000 l/d de ACS como se podrá comprobar en siguientes apartados.

Demanda total de ACS del edificio	Zona Climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	40	50	60
5.000-10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	40	60	70	70

Tabla 1 Contribución solar mínima anual para ACS en %

- Protección contra sobrecalentamientos

El sistema se debe diseñar teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%, para estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos que la demanda energética se sitúe por debajo del 50% correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección. Si se superase algún mes el 100% de la demanda energética de acuerdo con la sección HE-4 del CTE se deberán adoptar una de las siguientes medidas:

- a) Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos preferentemente pasivos o mediante la circulación nocturna del circuito primario).
- b) Tapado parcial del campo de captadores (en caso de producción de energía por solar térmica). En este caso el captador solar térmico está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador).

- c) Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares, debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento.
- d) Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.
- e) Sistemas de vaciado y llenado automático del campo de captadores.

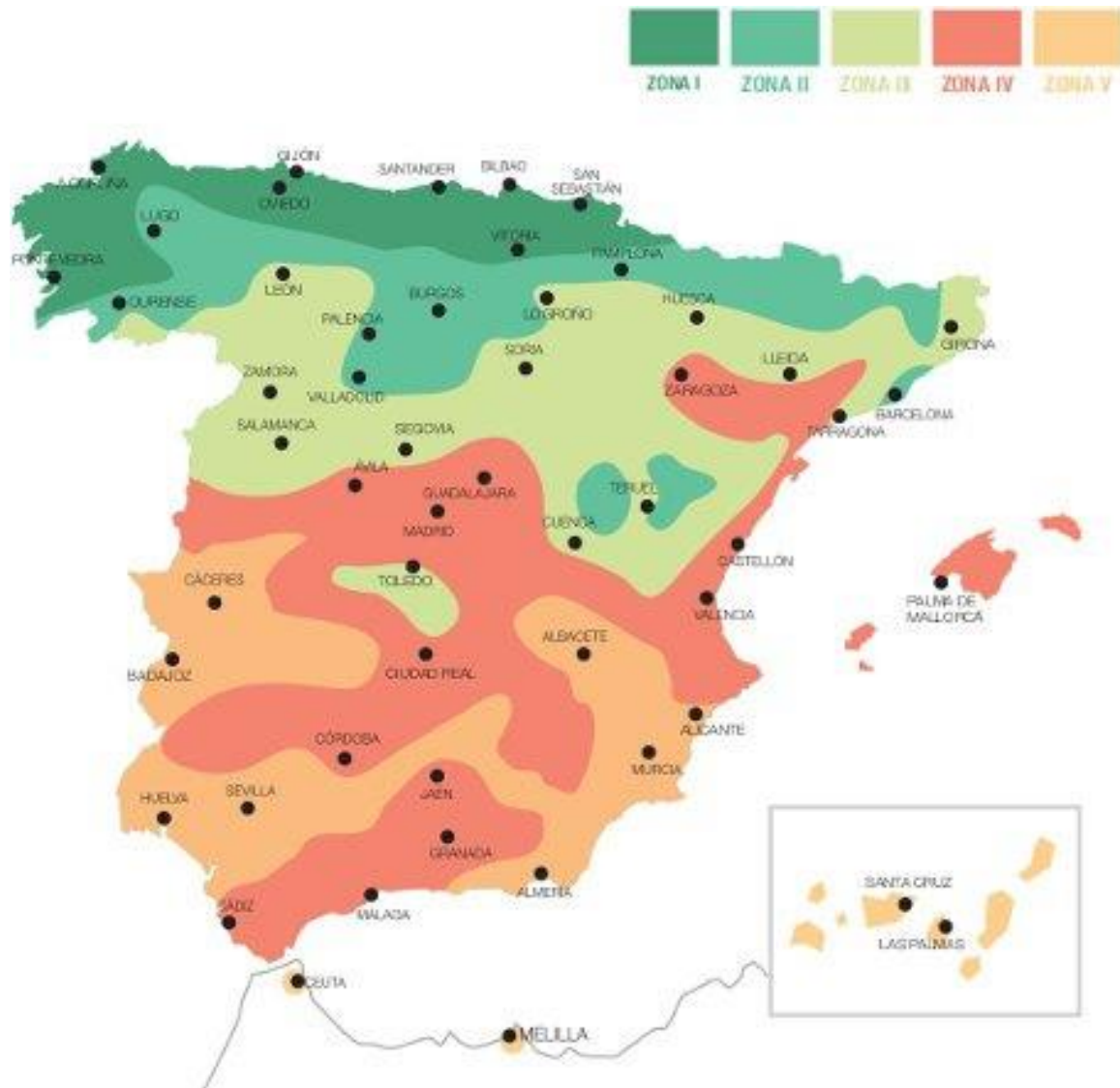


Figura 6 Mapa de las zonas climáticas españolas

Fuente: www.turadiadorelectrico.es

- Prevención de flujo inverso

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula antiretorno para evitar flujos inversos.

- Prevención de la legionelosis

En las instalaciones de ACS se debe tener principal cuidado con la bacteria «Legionella» que crece en el agua a temperaturas entre 20°C y 50°C, pero que no sobrevive por encima de los 60°C. Para luchar contra esta bacteria que provoca la legionelosis el sistema de calentamiento será capaz de elevar la temperatura hasta los 70°C de forma periódica para su pasteurización.

- Sistemas de medida de energía

Las instalaciones con más de 14kW de potencia deberán disponer de un sistema de medida de la energía suministrada para poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones correspondientes.

3.2 Cálculo de la Demanda de ACS

El cálculo de la demanda para el edificios se ha realizado acorde con el procedimiento del “Documento Básico de Ahorro de Energía” (HE4).

Primero se ha establecido una referencia de consumo según el criterio de demanda de las diferentes explotaciones, que puede haber en el edificio

Criterio de demanda	Litros/día ·unidad	Unidad
<i>Vivienda</i>	28	Por persona
<i>Hospitales y clínicas</i>	55	Por persona
<i>Ambulatorio y centro de salud</i>	41	Por persona
<i>Hotel *****</i>	69	Por persona
<i>Hotel ****</i>	55	Por persona
<i>Hotel***</i>	41	Por persona
<i>Hotel/hostal**</i>	34	Por persona
<i>Camping</i>	21	Por persona
<i>Hostal/pensión*</i>	28	Por persona
<i>Residencia</i>	41	Por persona
<i>Centro penitenciario</i>	28	Por persona
<i>Albergue</i>	24	Por persona
<i>Vestuarios/duchas colectivas</i>	21	Por persona
<i>Escuela sin ducha</i>	4	Por persona
<i>Escuela con ducha</i>	21	Por persona

<i>Cuarteles</i>	28	Por persona
<i>Fábricas y talleres</i>	21	Por persona
<i>Oficinas</i>	2	Por persona
<i>Gimnasios</i>	21	Por persona
<i>Restaurantes</i>	8	Por persona
<i>Cafeterías</i>	1	Por persona

Tabla 2 Demanda de referencia a 60°C

Para los locales comerciales como no están ocupados no se puede determinar la dedicación final de cada uno de ellos. Por tanto se ha optado por establecer una ocupación de 5 personas para cada uno de los locales y diferentes criterios de demanda, uno sería un restaurante, otro una oficina y por ultimo una cafetería para poder seleccionar las demandas de la Tabla 2.

$$8 \frac{\text{litros}}{\text{dia} \cdot \text{persona}} \cdot 5 \text{ personas} + 1 \frac{\text{litros}}{\text{dia} \cdot \text{persona}} \cdot 5 \text{ personas} + 2 \frac{\text{litros}}{\text{dia} \cdot \text{persona}} \cdot 5 \text{ personas} = 55 \frac{\text{litros}}{\text{dia}}$$

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1.5	3	4	5	6	6	7

Tabla 3 Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Para las viviendas se ha seleccionado de la Tabla 3 según el número de dormitorios. Con ello según los planos del edificio se tienen dos tipos de viviendas, existen trece viviendas con tres dormitorios y otra vivienda con cinco dormitorios.

$$12 \text{ viviendas} \cdot 4 \text{ personas} \cdot 28 \frac{\text{litros}}{\text{dia}} + 1 \text{ viviendas} \cdot 5 \text{ personas} \cdot 28 \frac{\text{litros}}{\text{dia}} = 1.484 \frac{\text{litros}}{\text{dia}}$$

Por último se debe tener en cuenta un factor de centralización ligado a la demanda según la Tabla 4.3 del HE4 por ser un edificio de viviendas multifamiliares. Como tenemos un total de trece viviendas el factor obtenido de la Tabla 4 es de 0,9.

Nº de viviendas	$N \leq 3$	$4 \leq N \leq 10$	$11 \leq N \leq 20$	$21 \leq N \leq 50$	$51 \leq N \leq 75$	$76 \leq N \leq 100$	$N \geq 100$
Factor de centralización	1	0.95	0.9	0.85	0.80	0.75	0.7

Tabla 4 Valor del factor de centralización

Por tanto tenemos una demanda total de ACS diaria de:

$$(1484 \cdot 0,9) + 55 = 1.390,6 \frac{\text{litros}}{\text{dia}}$$

3.3 Cálculo de energía necesaria para calentar el agua

Para el cálculo de la energía necesaria para dimensionar la instalación de ACS se realizará con la ayuda del programa CHEQ4.

El programa CHEQ4 ha sido elaborado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) y ASIT (la Asociación Solar de la Industria Térmica), con el fin de facilitar la aplicación de la sección HE4 incluida en el CTE. Este programa es constantemente actualizado para adaptarse a los nuevos cambios de normativos que pudieran aparecer, por lo tanto la herramienta cumple la última exigencia publicada en la Orden FOM/1635/2013 por la que se actualizaba el Documento Básico DB-HE. Es una herramienta de acceso gratuito y se utilizará para verificar los cálculos del proyecto.

El CHEQ4 genera un informe con los resultados que justifica los resultados obtenidos. Con este informe es suficiente para acreditar el cumplimiento de los requisitos energéticos establecidos en la sección HE4 del CTE.

La base de datos del programa incluye aquellos captadores solares y equipos prefabricados cuyos fabricantes solicitaron su inclusión y se encuentran en posesión de un certificado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. De otra forma el programa también nos aporta los datos necesarios si en lugar de una instalación de energía solar térmica queremos utilizar una fuente de energía renovable diferente. Nos facilita los datos del consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ máximas y su sistema auxiliar, que se deben tener en cuenta para la sustitución de las tecnologías.

CHEQ4 utiliza como motor de cálculo la metodología MetaSol. Es una técnica que combina la precisión de los programas de simulación dinámica con la rapidez y simplicidad de métodos estáticos. Para obtener un método de cálculo instantáneo el

programa sigue una aproximación similar a la del método F-Chart, es decir, que partiendo de modelos detallados definidos en un programa de simulación dinámica se han realizado gran cantidad de simulaciones de cuyos resultados se han determinado algoritmos matemáticos que serán función de las variables clave del sistema

Estos modelos permiten el cálculo de las instalaciones e indicaran

- Las pérdidas térmicas de las instalaciones (tuberías, intercambiador, acumulador...)
- La demanda bruta de energía anual.
- La demanda neta de energía anual.
- El aporte solar térmico y la contribución solar.
- En caso de querer utilizar otra fuente de energía renovable, nos aportará los valores límites de consumo de energía primaria y los valores de emisiones de CO₂ máximos.

Los resultados anuales que se han obtenido son los mostrados en la Figura 7.

Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
27.941	28.896	15.106	14.756	3.261

Figura 7 Resultados CHEQ 4

Como se puede comprobar en la Figura 8 el mes que necesitamos mayor demanda será el mes de Enero con un total de unos 2.700 kWh, por lo tanto si lo se calcula por días necesitaremos un aporte de 87kWh. Este será el valor con el que se dimensionen los sistemas de generación de las diferentes alternativas que se va a estudiar.

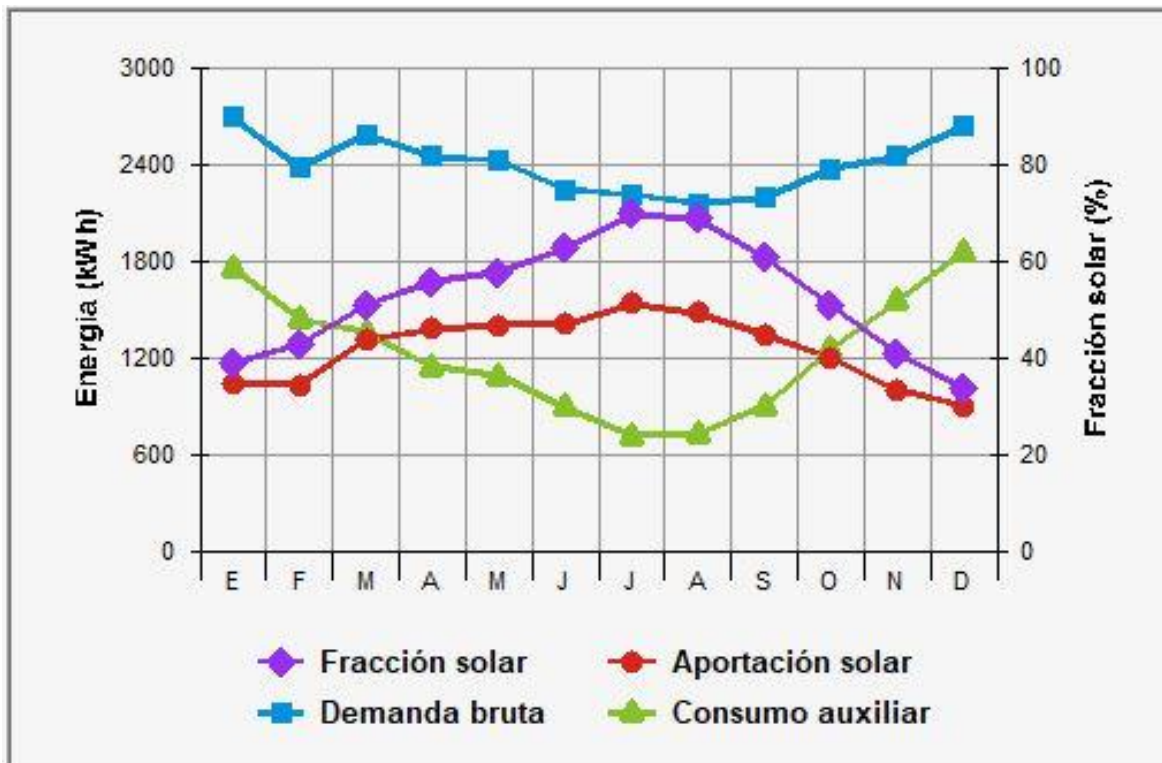


Figura 8 Demanda de energía por meses

Para poder utilizar otras fuentes de energía renovable el CHEQ4 muestra una serie de datos que no podrán ser superados con el sistema de consumo de energía de la fuente primaria (no renovable) y las emisiones de CO₂ que no deberá superar la instalación de energía renovable. Por lo tanto como se puede comprobar en la Figura 9 el sistema convencional de aporte de energía no podrá superar los 13.656 kWh anuales por tanto resulta un máximo de 38kWh diarios y la fuente renovable no deberá superar los 2.755 kg de emisiones de CO₂ lo que resulta 7,5 kg de CO₂ por día, pero hay que tener en consideración que estos valores están calculados para el 50% de energía solar.

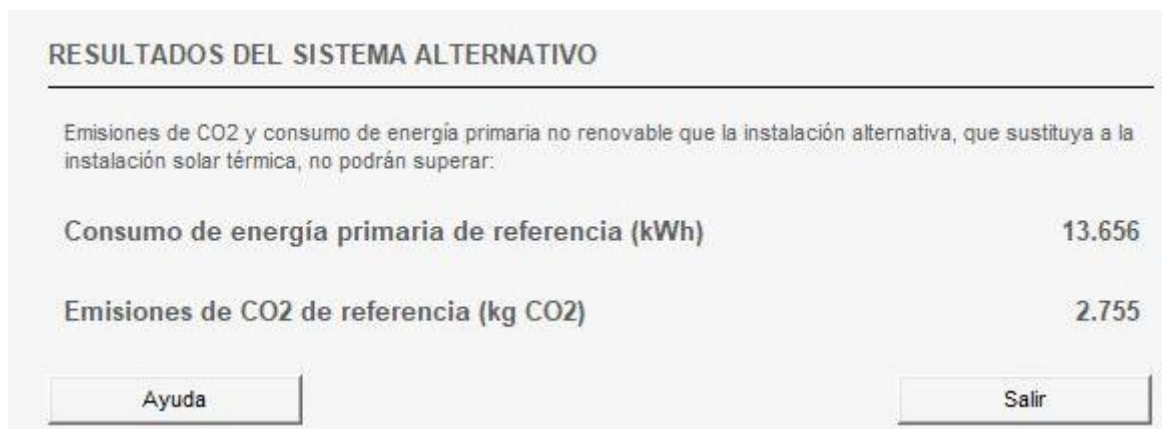


Figura 9 Límites proporcionados por el CHEQ4 para sustituir la energía solar térmica

Como sistema de referencia el CHEQ4 utiliza una caldera de gas convencional con un rendimiento medio estacional de un 92%.

3.4 Diseño de la Instalación de ACS común del Edificio

Según el espacio del que dispone el edificio se va a habilitar un espacio en la azotea, de aproximadamente 9 m² para la instalación de los sistemas de producción, acumulación y otros útiles que pudieran hacer falta en la instalación de las diferentes alternativas. La habitación en cuestión es la que se muestra en la Figura 10 en el centro de la azotea.

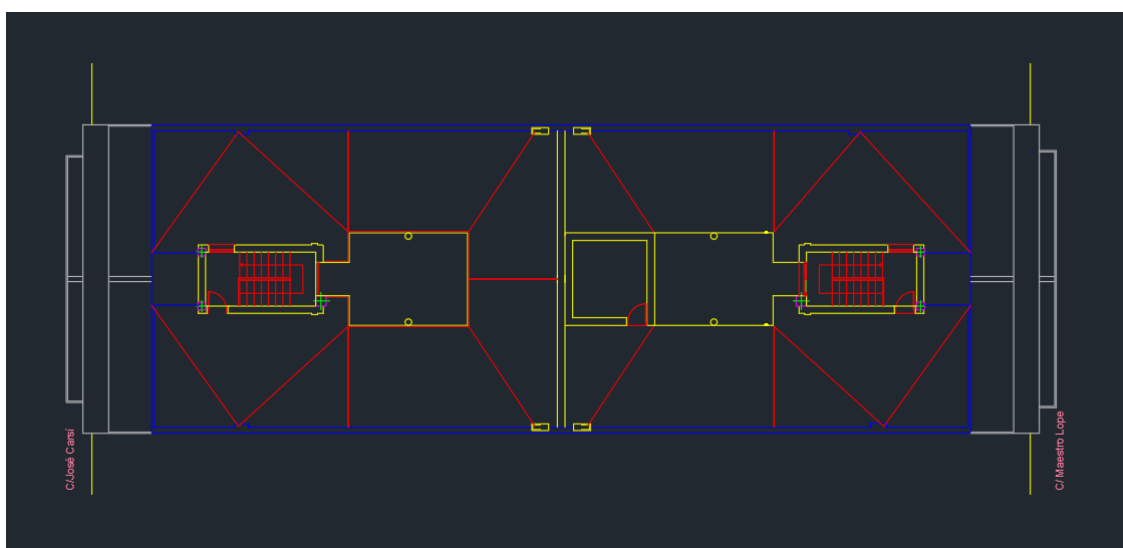


Figura 10 Plano de la azotea

Para conseguir un sistema de producción de ACS centralizado se debe instalar los siguientes sistemas:

- **Sistema de impulsión**, al poner la maquinaria en la azotea se necesita una bomba de impulsión en la parte baja del edificio para poder hacer llegar el agua fría hasta la azotea del edificio.

El edificio mide 22 metros de alto, por tanto según el Documento Básico de Salubridad de Agua HS4, la presión mínima requerida en los puntos de consumo se requiere una presión entre de 100 kPa (1bar) y de 500 kPa (5bar). Para dimensionar la bomba se tiene en cuenta el desnivel que requiere que son 18 metros más cierta presión para que en el primer punto de consumo llegue la presión indicada. Si se quiere una presión de 2,2 bar en lo alto de la azotea se requerirá una presión de 4 bar de impulsión. Que según la distancia más larga a recorrer y sin contar las pérdidas tendría una presión de 4,07 bar estaría dentro del rango de presión por la normativa. Y el punto más cercano de consumo de 2,4 bares también estaría dentro de lo requerido y con bastante holgura como para acoger las pérdidas de carga y fricción.

Para la selección de las bombas se ha utilizado el catálogo de bombas Hasa y se ha elegido un grupo de bombeo a presión con variador de frecuencia para poder adaptar la presión y que incluye ya diferentes válvulas para el correcto funcionamiento. El modelo ha sido el Nizaspeed 4.5M se pueden ver sus características en la Tabla 5.

	Bomba Hasa Nizaspeed 4.5M
<i>Caudal de bombeo (l/h)</i>	10.600 - 300
<i>Presión (m.c.a)</i>	10 - 80
<i>Consumo eléctrico (kW)</i>	1,1
<i>PVP (€)</i>	1.155

Tabla 5 Datos técnicos bomba Bomba Hasa Nizaspeed 4.5M

- **Sistema de intercambio/acumulación**, en un sistema centralizado de producción de ACS, es muy importante tener un sistema de acumulación adecuado para poder suministrar el agua necesaria en todo momento y un buen sistema de intercambio para tener las menores pérdidas posibles.

En el sistema de acumulación se debe verificar varias cosas entre ellas que la temperatura de acumulación en el depósito debe ser de al menos 60°C en el agua final de consumo, como se ha nombrado en el apartado 3.1. Y que este su volumen dentro de los márgenes de producción solar como exige la normativa.

En este estudio la demanda diaria es de 1390 litros, por lo tanto se va a buscar un depósito de acumulación para que pueda almacenar el consumo de un día entero. Para ello se va a utilizar el catálogo de Baxi Calefacción, y se ha elegido el depósito AS 1500-1 E ya que ofrece un sistema de serpentín extraíble que facilitaría una reparación, una mayor protección contra la corrosión y también está libre de CFC.

	AS 1500-1 E
<i>Dimensiones (mm)</i>	2.320 x 1.160 x 1.160
<i>Capacidad (l)</i>	1.400
<i>Presión máxima (bar)</i>	8
<i>Calificación energética</i>	C
<i>Peso en vacío (kg)</i>	415
<i>Material de fabricación</i>	Acero Esmaltado
<i>PVP (€)</i>	4.158

Tabla 6 Datos técnicos interacumulador AS 1500-1 E

- **Bomba circulación** para el circuito primario ya que con una larga instalación se necesitara una circulación forzada en aquellos sistemas con energía solar térmica.

Se ha escogido el modelo de Baxi Calefacción SB-50 XA ya que ofrece caudal de hasta 100 l/min y permite superar un desnivel de hasta 5 metros lo que permite superar el desnivel de 2m entre las azoteas. También ofrece un ajuste de tres velocidades para adaptar el caudal.

	SB-50 XA
<i>Caudal de bombeo (l/min)</i>	6000 - 100
<i>Presión máxima a superar (m.c.a)</i>	5,5
<i>Consumo eléctrico (W)</i>	114 - 70
<i>PVP (€)</i>	432

Tabla 7 Datos técnicos bomba circulación SB-50 XA

- **Líquido circuito primario** para evitar congelaciones por las heladas en el circuito primario y que dañen las tuberías se opta por realizar una mezcla de agua desionizada y propilengicol (esto será necesario cuando exista el sistema de generación por placas solares).

La temperatura media más fría en Burjassot es de 6°C, dejamos un margen de unos 10°C por lo tanto nos da una temperatura de -4°C. En la Tabla 8 se puede observar las proporciones y temperaturas de la mezcla del agua y el propilengicol por tanto escogeremos una mezcla del 20% de propilengicol.

% Propilengicol	Hasta °C
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
100%	-59

Tabla 8 Mezcla de Propilengicol con agua (% en volumen con agua bidestilada desionizada)

- **Tuberías y aislamiento** se pretende aprovechar al máximo el sistema de tuberías y aislamiento para la distribución hasta las viviendas ya existente. Pero si hiciera falta se utilizarían tuberías de acero galvanizado con aislamiento de espuma de polietileno para el circuito de consumo. Para el circuito primario se utilizaran de cobre o acero negro para mejorar la transmisión de calor.

- **Vasos de expansión** son necesarios ya que permiten absorber las dilataciones de los cambios de temperatura del fluido. Preferentemente se instalaran en las aspiraciones de las bombas.
- **Válvulas** se emplearan las válvulas necesarias llenado, vaciado, antiretorno, para abrir o cerrar el circuito, etc.

3.5 Dimensionado de los Sistemas de Generación de

ACS centralizada

En este punto se procederá a analizar las diferentes opciones que se contemplan para la generación de energía para la producción de ACS y así poder realizar en los próximos apartados su viabilidad económica. Se valorará tanto las posibles ventajas y desventajas de las diferentes opciones como el cumplimiento de la normativa y necesidades del edificio.

Los datos calculados en apartados anteriores a tener en cuenta son los que están reflejados en la Tabla 9.

<i>Aporte total de energía diaria.</i>	87 kWh/día
<i>Energía mínima mediante fuentes de energía renovables anuales.</i>	14.448 kWh
<i>Energía máxima procedente de fuentes convencionales anual.</i>	13.656 kWh
<i>Emisiones máximas de CO₂ por la fuente de energía sustituye para un 50% anual.</i>	2.755 kg

Tabla 9 Resumen datos de energía

Combinaciones 1 – 50% energía solar + Resto energías complementarias

En esta serie de combinaciones se va calcular la fuente de energía renovable más utilizada como es la Energía Solar Térmica junto a otras opciones de energía para producir ACS. En este primer caso vamos a optar por tener un 50% de la producción de energía proveniente de energía solar térmica por los captadores deberán proporcionar como mínimo 43,5 kWh/día para cumplir la exigencia del apartado 3.1.

La energía solar térmica consiste en un sistema de captación de energía proveniente de las radiaciones producidas del sol en forma de calor y el aprovechamiento de ésta energía para en el caso de ACS calentar el agua, existen otros procedimientos para transformar esta energía mecánica o eléctrica.

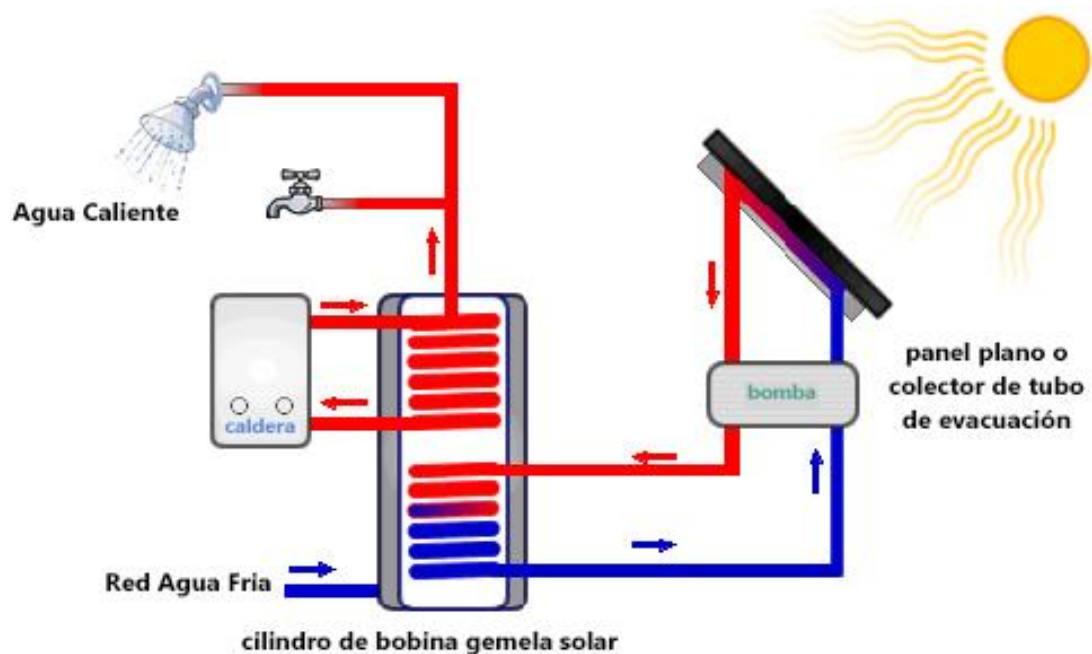


Figura 11 Esquema generación energía solar térmica

Fuente: www.pintower.com

Para instalar un sistema de energía solar térmica serán necesarios:

- Captadores solares cuya función es la de captar la radiación solar y calentar el líquido que fluye por su interior. Su funcionamiento está basado en el efecto invernadero. Existen muchos tipos de captadores solares: planos, de tubos de vacío, de alta temperatura... Para las instalaciones de ACS los más comunes son los captadores solares planos.
- Intercambiadores de calor es fundamental no mezclar ambos fluidos (el fluido calentado por los captadores y el agua de consumo) para ello existe este elemento donde la energía proporcionada por las placas se intercambia en un circuito secundario o directamente en el circuito de consumo. En el apartado 3.5 se ha realizado la elección de un interacumulador previamente.
- También son necesarios otros elementos, como acumulador, tuberías... Que son elementos comunes a los otros sistemas de generación.

Estos elementos forman nuestro circuito primario donde se producirá la energía mediante fuentes renovables y se almacenara en el acumulador.

Ventajas generales de la energía solar térmica:

- Energía autónoma proveniente de una fuente gratuita e inagotable.
- Reducción considerable de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Coste de instalación recuperable en un plazo medio.

Inconvenientes de la energía solar térmica:

- Ocupa gran cantidad de superficie respecto a otras formas de producción de ACS.
- El sol no incide siempre con la misma intensidad debido al clima.
- Cuando mayor producción de energía térmica hay es cuando menos se necesita.
- Necesidad de una fuente de energía de apoyo.

En la instalación de energía solar térmica hay que tener en cuenta ciertas condiciones que impone el CTE HE 4.

1. Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un calor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V (l)}{A (m^2)} < 180$$

2. Pérdidas por orientación e inclinación y sombras.

Las pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar que incide sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras. La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sean inferiores a los establecidos en la Tabla 10.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
<i>General</i>	10 %	10 %	15 %
<i>Superposición de captadores</i>	20 %	15 %	30 %
<i>Integración arquitectónica de captadores</i>	40 %	20 %	50 %

Tabla 10 Límite de pérdidas en la energía solar térmica

Se considera la orientación óptima el sur y la inclinación óptima para una demanda constante anual la latitud geográfica. En el caso de Burjassot se orientarán hacia el sur y con una inclinación 39,3° ya que esta es su latitud.

Para la elección de los captadores se ha utilizado el catálogo de elementos de Baxi Calefacción se ha escogido en concreto del modelo Mediterráneo 250 que está especialmente indicado para su instalación en vertical y será mejor para la instalación. Para cumplir con el suministro de energía sería necesario la instalación de 8 de estos colectores que proporcionarían en total el 53% de la producción, se ha calculado teniendo en cuenta un 5% de pérdidas por sombra por superposición de captadores y otro 5% por inclinación y orientación no superando los límites de la Tabla 11.

	Mediterráneo 250
<i>Dimensiones generales (mm)</i>	2187 x 1147 x 71,5
<i>Superficie total de captación (m²)</i>	2,4
<i>Peso vacío (kg)</i>	44
<i>Presión máxima de trabajo (bar)</i>	10
<i>Temperatura máxima de trabajo (°C)</i>	206
<i>Rendimiento máximo</i>	77,3 %
<i>Material del acumulador</i>	Aluminio
<i>PVP (€)</i>	697

Tabla 11 Datos técnicos paneles solares Mediterráneo 250

Por lo tanto la energía aportada por la instalación solar térmica será de 15.435 kWh anuales como podemos ver en la Figura 12. Los sistemas de producción de ACS complementarios deberán aportar la energía suficiente para calentar el resto de la demanda, por lo tanto deberán aportar el 47% de la producción anual que son un total de 13.581 kWh. Necesitaremos un total de 20 m² para la instalación de todos los paneles.

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)
53	27.941	28.896	15.435

Figura 12 Datos CHEQ4 con el 50% aporte solar

Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural

Junto con la fuente de energía renovable solar térmica será necesario una fuente convencional para que aporte la energía restante necesaria. Por precaución se dimensionara esta fuente de energía convencional para que pueda soportar el 100% de la producción, por tanto deberá aportar como mínimo 87 kWh/día.

Las calderas de gas natural son uno de los sistemas de más usados para el aporte de calor en los sistemas de ACS, las calderas de gas utilizan la combustión del gas natural para calentar el agua.

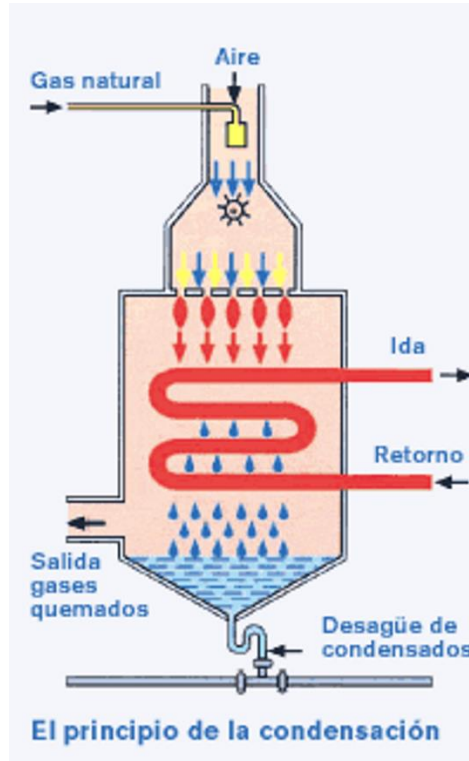


Figura 13 Esquema caldera gas natural de condensación.

Fuente www.junkers.es

Ventajas generales de la utilización de una caldera de gas natural de condensación:

- Son calderas con una vida útil mayor que otros sistemas de producción.
- Alta eficiencia energética superando en algunos casos el 100%.
- Reducción las emisiones contaminantes frente a calderas convencionales.

Inconvenientes de las calderas de condensación.

- Mayor inversión inicial que respecto a las calderas convencionales.
- Necesidad de instalación de un desagüe.
- Precisan de instalación de gas natural.
- Necesitan un buen mantenimiento.

En este primer caso se va a elegir una caldera de producción de gas natural. Para ello se ha elegido el modelo Power HT Plus 90 F que proporciona una potencia útil de hasta 91,8 kW para el apoyo de nuestro sistema y además es un modelo con diseño compacto perfecto para la sala en la que se instalaría.

	Power HT Plus 90 F
<i>Dimensiones generales (mm)</i>	287 x 116 x 88,5
<i>Potencia térmica nominal 80/60°C (kW)</i>	85
<i>Presión máxima de trabajo (bar)</i>	4
<i>Rendimiento a potencia nominal 80/60°C (%)</i>	97,73 %
<i>Consumo eléctrico (kW)</i>	0,146
<i>Clase de Eficiencia</i>	A
<i>Tipo de gas</i>	GN / GLP
<i>PVP (€)</i>	4.711 €

Tabla 12 Datos técnicos caldera gas natural Power HT Plus 90 F

Como se ha diseñado para que cubra el 100% de la demanda de un día del mes desfavorable en enero, seguro que cumple con creces los 13.581 kWh necesarios para complementar la energía solar térmica.

Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica

En este caso se va a elegir como opción la fuente de energía convencional a una caldera eléctrica.

La electricidad es una fuente de energía muy accesible para cualquiera que tenga acceso a la red eléctrica. En lo que respecta a la generación de ACS mediante caldera eléctrica se genera por la transmisión de calor a través de una o varias resistencias eléctricas.

Ventajas generales de la utilización de una caldera eléctrica:

- Facilidad de instalación ya que solamente requiere de electricidad para funcionar.
- Ausencia de olores y ruidos.
- Largo periodo de vida útil.
- Pocos gastos de mantenimiento.

Desventajas generales de la utilización de una caldera de pellets:

- Se debería contratar una potencia mayor para poder soportar el consumo.
- Requiere de un tiempo corto para calentar el agua.



Figura 14 Interior de una caldera eléctrica.

Fuente <http://www.peisa.com.ar/>

Se ha seleccionado el modelo CML 15 ya que tiene un diseño compacto y una potencia máxima de 15kW por lo tanto como debemos poner al menos 3 calderas para llegar a los 45kW y poder generar prácticamente el consumo 87kWh en 2h aproximadamente. Las características técnicas se pueden observar en la Tabla 13.

	CML 15
<i>Dimensiones generales (mm)</i>	740 x 416 x 220
<i>Potencia térmica nominal máxima 80/60°C (kW)</i>	15
<i>Presión máxima de trabajo (bar)</i>	4
<i>Rendimiento a potencia nominal 80/60°C (%)</i>	95%
<i>Clase de Eficiencia</i>	D

<i>Tipo de energía consumida</i>	Electricidad
<i>PVP (€)</i>	1.791

Tabla 13 Datos técnicos caldera CML 15

Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets

Para este caso se va a elegir como energía de apoyo una caldera de producción de ACS mediante el quemado de pellets que también proviene de una energía de fuentes renovables, la biomasa.

La biomasa es materia orgánica resultado de un proceso biológico, espontáneo o provocado, que se puede utilizar como combustible para obtener energía, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial. En este sentido la biomasa se considera una materia prima de tipo renovable de origen biológico que no ha sufrido un proceso de mineralización en formaciones geológicas como los combustibles fósiles, y que se comercializa según diversas tipologías, cada una de las cuales presenta características distintas en función de su origen.

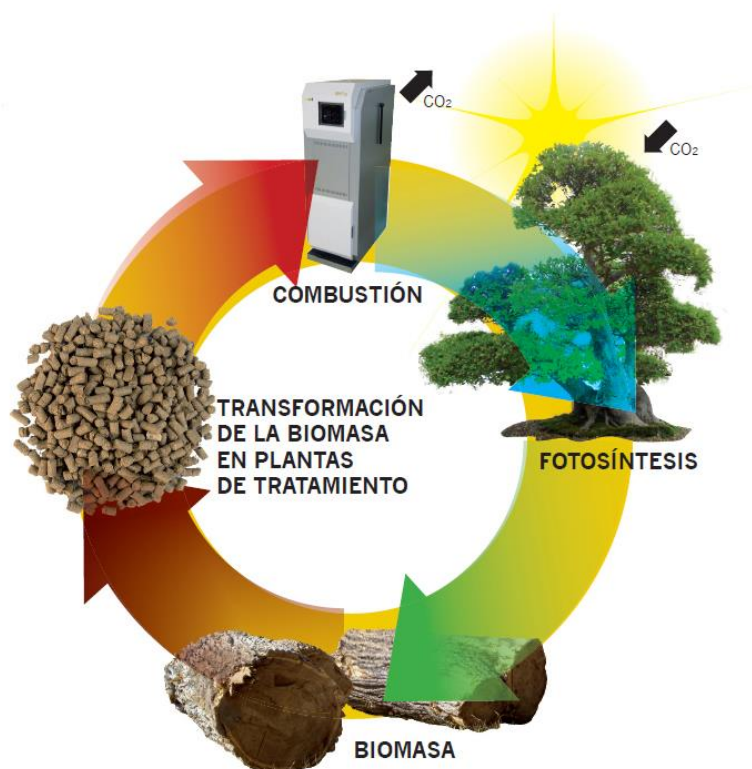


Figura 15 Ciclo de la biomasa.

Fuente <https://www.tumejorenergia.com/>

Para el caso que se quiere estudiar la energía se extrae a partir de pellets que son unos pequeños cilindros elaborados a partir de serrín natural seco, sin ningún aditivo ya que se utiliza la propia lignina que contiene el serrín como aglomerante. Para su fabricación se comprime el serrín a alta presión para formar el pellet, lo que hace que tengan una composición muy densa y dura, consiguiendo así un gran poder calorífico.

Ventajas generales de la utilización de una caldera de pellets:

- Es un combustible económico frente a otras alternativas como el gasóleo.
- El serrín proviene de desperdicios de las industrias por tanto es una forma de aprovechar al máximo sin talar nuevos árboles.
- En el ciclo de vida del pellet la contaminación de CO₂ por la combustión se equilibra con la fotosíntesis de los árboles.
- No caducan, sus cualidades se mantiene a lo largo del tiempo si se conserva en un lugar seco.

Desventajas generales de la utilización de una caldera de pellets:

- Resultan más caros que otras fuentes de biomasa como la leña.
- Requieren un mayor espacio para almacenar los pellets y la caldera en sí.
- Necesitan de una salida de humos.
- Requieren de un mantenimiento mediante el suministro del combustible.

En este caso se ha optado por una caldera del catálogo de Domusa Teknik, en concreto el modelo Bioclass HM 66 ya que nos proporciona una caldera de 66kW de potencia, con sistema automático de limpieza para reducir al mínimo su nivel de mantenimiento y un depósito de reserva de pellets de 180kg al que se instalará otro depósito adicional de 195kg para tener una mayor autonomía.

	Bioclass HM 66
<i>Dimensiones generales (mm)</i>	1.470 x 1.765 x 1.620
<i>Potencia térmica nominal 80/60°C (kW)</i>	64,8 kW
<i>Presión máxima de trabajo (bar)</i>	4
<i>Rendimiento a potencia nominal 80/60°C (%)</i>	92,1
<i>Potencia eléctrica (W)</i>	485
<i>Tipo de combustible</i>	Pellet
<i>Depósito de reserva pellet (kg)</i>	180
<i>Clase Energética</i>	A+
<i>PVP (€)</i>	7.543

Tabla 14 Datos técnicos caldera de biomasa Bioclass HM 66

Es necesario el aporte de 13.581 kWh y de 87kW en un día para cumplir las exigencias marcadas al inicio del apartado. Para aportar los 87kW en los meses más desfavorable a su potencia nominal tardaría 1h y 20 min, por lo tanto cumple las exigencias de suministro de energía. Al cumplir este apartado seguro que es capaz de aportar 13.581 kWh anuales.

Combinaciones 2 – Máxima energía solar + Resto energías complementarias

En esta serie de caso se va a utilizar los mismos diseños que en las combinaciones anteriores, excepto que se sustituirá la contribución de energía solar por la máxima contribución que el reglamento permita.

Para maximizar la producción de energía solar debemos tener en cuenta uno de los requisitos del CTE HE4 nombrado en el apartado de la combinación 1 y podemos ver en la fórmula en el apartado 3.5, que limita la área total de captadores según el volumen del acumulador, en este caso el acumulador tiene un total de 1.500 litros.

Por lo tanto para un volumen de 1500 litros, el área máxima que se puede instalar resulta ser de 30m². Como cada captador tiene un total de 2,4m² según sus datos técnicos reflejados en la Tabla 11, se debe utilizar un total de 12 captadores solares con una superficie total de captación de 28,8 m².

Estos 12 captadores solares gracias a la ayuda del CHEQ4 y aumentando las pérdidas de sombras a un 10% porque al haber más captadores la superposición por sombras será mayor se ha calculado que el aporte solar anual será de 19.138 kWh que representa el 66% de la producción de ACS según podemos ver en la Figura 16. Por lo tanto el resto de energías complementarias deberán aportar el 34% de la producción que significa 9.878kWh anuales.

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)
66	27.941	28.897	19.138

Figura 16 Datos CHEQ4 con el 66% de contribución solar

Por lo que corresponde a la normativa se indica que ningún mes del año la aportación solar sea superior al 110% y en no más de tres meses sea superior al 100%. Para comprobar que estamos dentro de la reglamentación observamos la Figura 17 y como se puede observar que en ningún caso se llega al 100% de contribución solar. Por lo tanto en principio no es necesario establecer ninguna medida de protección contra sobrecalentamientos indicadas en el apartado 3.1.

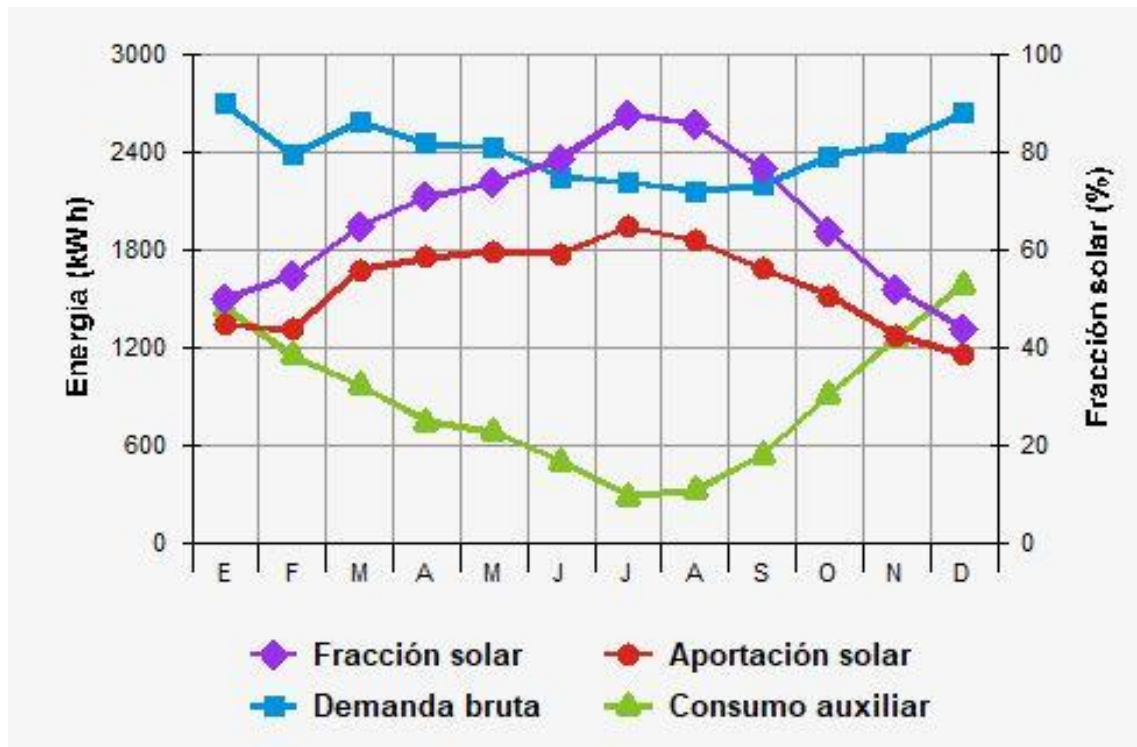


Figura 17 Datos CHEQ4 con un 66% de contribución solar por meses

Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural

Para el primer caso se van a complementar los 12 paneles solares instalados junto la caldera de gas natural de condensación elegida en la combinación 1.1 Power HT Plus 90 F, sus características se pueden ver en la Tabla 12.

Como la anterior combinación era más exigente en cuanto a contribución de la energía convencional que está se puede afirmar que cumplirá la producción de energía necesaria para complementar la energía solar térmica.

Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica

Para la combinación 2.2 se elegirán los 12 paneles solares y la misma caldear eléctrica que en la combinación 1.2.

Como las condiciones son menos desfavorables y en la anterior combinación ya se cumplía la producción, se entiende que en este caso también se cubre la producción anual.

Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets

En el apoyo con caldera de pellets también se va a optar por el mismo modelo que en la combinación 1.3 el modelo de Domusa Bioclass HM 66 sus características se domusa puede ver en la Tabla 14.

Igual que en el caso de la caldera de gas no es necesario realizar comprobaciones porque este aporte es menos restrictivo que el anterior.

Combinación 3 – 100% Caldera Pellets

Para esta tercera combinación se va a optar por tener un productor de ACS con una caldera de pellet que nos suministre toda la potencia necesaria para calentar el agua. En este caso se optado por el modelo Bioclass HM 25/66 que nos brinda una combinación de dos modelos de caldera juntas para ofrecernos la potencia necesaria 91,4 kW también del catálogo ofrecido por Domusa Tecknik a parte de las ventajas que ofrecía el modelo HM 66 elegido en la combinación 1.3.

Este modelo lleva un depósito de reserva de 180kg de pellet y como en el caso anterior de pellet se añadirá otro depósito de 195 kg. Como el poder calorífico del pellet es aproximadamente de 4,88 kWh/kg por lo tanto un deposito completo proporciona 1830 kWh, si se observa la Figura 17 se puede llegar a la conclusión de que ofrece más de medio mes de autonomía en los meses más desfavorables. Aunque requerirá de una carga mensual que se incluirá en los gastos de explotación.

Las emisiones generadas por una caldera de pellets se consideran neutro ya que como se puede observar en la Figura 15 la producción de CO₂ que se genera a la atmosfera mediante la combustión es reutilizada por las plantas que luego generaran la biomasa. Por lo tanto se considera la biomasa y por tanto a los pellets que sus emisiones de CO₂ son neutras, por tanto cumple la normativa del HE-4 del CTE y se puede sustituir por la energía solar térmica.

	Bioclass HM 25/66
Dimensiones generales (mm)	2.140 x 1.765 x 1.620
Potencia térmica nominal 80/60°C (kW)	91,4
Presión máxima de trabajo (bar)	4
Rendimiento a potencia nominal 80/60°C (%)	92,8 %
Potencia eléctrica (W)	485
Tipo de combustible	Pellet
Clase Energética	A+
PVP (€)	8.335

Tabla 15 Datos técnicos caldera pellets Bioclass HM 25/66



Como el diseño se ha realizado para que aporte la energía suficiente un día desfavorable en el mes de Enero (que son las peores condiciones) y este aporte gracias a la potencia elegida la consigue realizar en una hora. Las condiciones anuales de aporte de energía serán superiores a las necesarias. 8.878

Combinación 4 – 100% Aerotermia

En esta configuración se propone usar el sistema de producción de energía mediante la aerotermia. La aerotermia es un sistema de producción de calor que extrae su energía del aire y la transfiere al ambiente interior de una vivienda o al agua para generar ACS.

La producción de energía mediante aerotermia se produce fundamentalmente mediante cuatro pasos:

1. En la primera fase el aire exterior entra en un evaporador y se produce un intercambio de energía entre el líquido refrigerante y el aire exterior. Así como el aire interior está más frío que el aire este llega a evaporarse.
2. El refrigerante evaporado se desplaza hacia un compresor de aire donde se comprime y aumenta su temperatura.
3. El gas que se encuentra comprimido llega a un condensador y se transforma nuevamente a estado líquido. Una vez que el gas esté condensado se transforma en líquido refrigerante. El gas comprimido, al condensarse, libera calor, que es el que servirá para calentar la vivienda o en el caso de este estudio en ACS.
4. El refrigerante se irá desplazando hacia la válvula de expansión, que hará que baje la temperatura y la presión del refrigerante, regresará al evaporador y se reiniciará el proceso.

Ciclo termodinámico

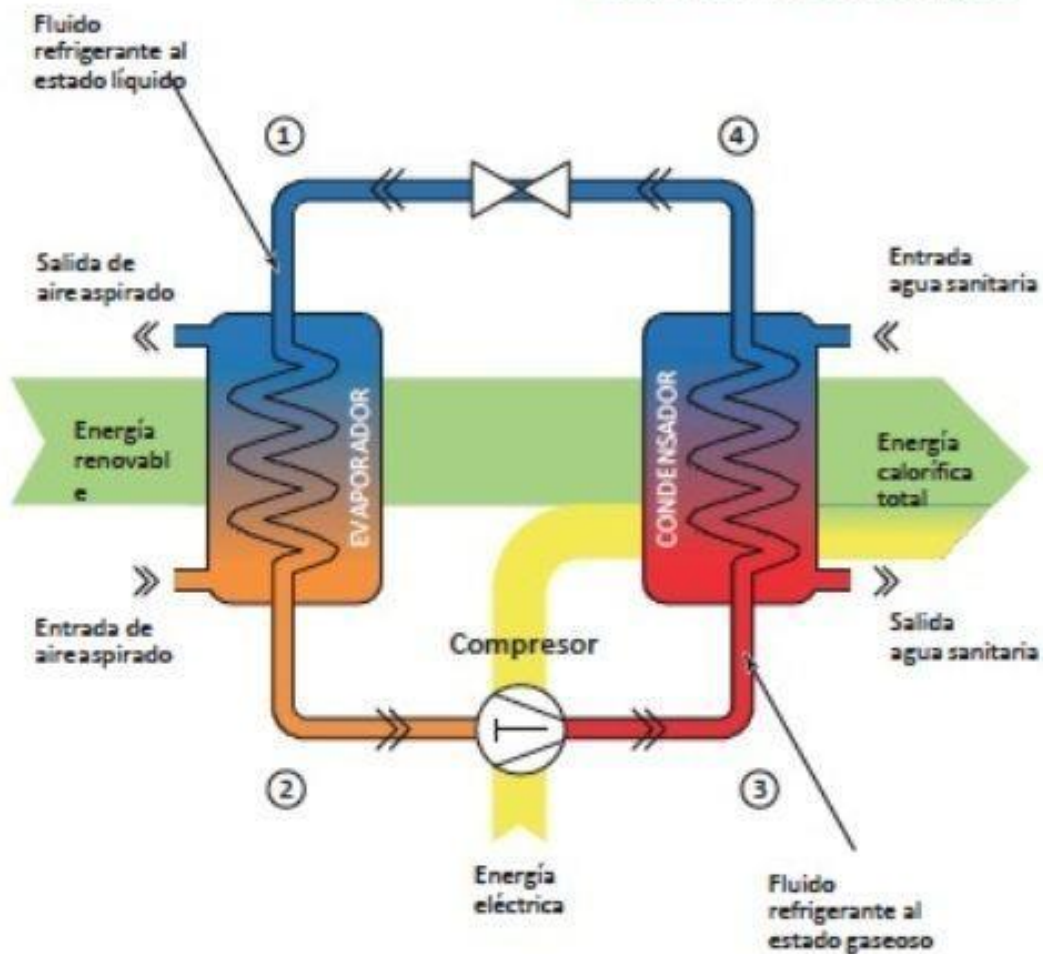


Figura 18 Ciclo termodinámico aerotermia

Fuente: www.steemkr.com

Ventajas generales de la utilización de la generación por aerotermia:

- Alta eficiencia, respecto los sistemas de calentamiento tradicionales.
- Si cumple ciertas condiciones es considerada una fuente de energía renovable.
- No requiere de mucho mantenimiento y tampoco genera apenas residuos.
- No caducan, sus cualidades se mantiene a lo largo del tiempo si se conserva en un lugar seco.
- Ocupa menos espacio que la energía solar térmica.

Desventajas generales de la utilización de una caldera de pellets:

- Requiere de dos unidades, una en el exterior y otra en el interior.
- Su desembolso inicial suele ser superior de otras fuentes de energía.
- Las bombas exteriores suelen producir bastante ruido.

Según la directiva española EN 14.825:2012 la aerotermia está dentro del grupo de energías renovables aunque utilice electricidad para su funcionamiento siempre y cuando supere un cierto rendimiento llamado COP (Coefficient Of Performance) que debe ser mayor que 2,5. Este coeficiente lo que representa es el porcentaje entre el calentamiento o enfriamiento proporciona y la electricidad consumida.

En esta elección se ha optado por valorar las opciones del catálogo de Mitsubishi Electric ya que tiene generadores de aerotermia de bastante potencia. Se ha elegido tres unidades de la bomba de calor Hydrobox Duo PUAZ-HW140YHA que en total aportaran 14 kW cada unidad, 42kW en total junto con ellas se instalara una unidad interior de la misma marca, la EHPT20X-VM2C. Podemos ver sus características en la Tabla 16.

	PUHZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C
Dimensiones generales (mm)	2.140 x 1.765 x 1.620
Potencia térmica nominal 80/60°C (kW)	14
Presión máxima de trabajo (bar)	10
Caudal nominal del circuito (l/min)	40,1
Eficiencia Estacional	96% / 102%
Tipo de combustible	Electricidad
COP nominal (W:35°C; A: 7 / 2 / -7°C)	4,26 / 3,11 / 2,68
Clase Energética	A
Capacidad del tanque ACS (l)	200
Consumo eléctrico (kW)	3,290
Resistencia de apoyo (kW)	2
PVP (€)	7.569

Tabla 16 Datos técnicos aerotermia PUAZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C

Por la Tabla 16 del sistema elegido de aerotermia se puede ver que el COP mínimo es mayor al 2,5 exigido para establecerla como fuente de energía renovable pero se va a realizar el cálculo de los kg de CO₂ emitidos para comprobar que cumple y puede sustituir a la energía solar térmica en los términos marcados por el CTE HE4. Según el RITE se produce en España 0,357 kg de CO₂ por cada kWh de energía final consumida.

$$\frac{29.016 \text{ kWh}}{42 \text{ kW}} = 690 \text{ h}$$

Serán necesarias 1.032 horas para generar la potencia calorífica necesaria para generar el ACS. En la Tabla 16 se puede observar que el COP nominal más bajo es de 2.68 por lo tanto para producir la energía necesaria requerirá para generar los 14 kW térmicos de 5,22 kW eléctricos, al tener tres calderas 15,66 kW.

$$15,66 \text{ kW} \cdot 690 \text{ h} = 10.805 \text{ kWh}$$

Vamos a calcular con este consumo los kg de CO₂ al año que generaría la aerotermia.

$$10.805 \text{ kWh} \cdot 0,36 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 3.890 \text{ kg CO}_2$$

Este valor es inferior al obtenido con el programa CHEQ4 que se puede observar en la Tabla 9 de 2.755 kg que corresponde al 50% solar aportado y como en esta combinación no existe energía convencional de apoyo se cumplen las condiciones para sustituir la energía solar térmica por la aerotermia que exige el CTE HE4.

$$3.890 \cdot 0,50 = 1.945 \text{ kg CO}_2$$

Por lo tanto en el caso de que la bomba funcione a su peor nivel de COP, sigue sin superar los requisitos marcados por el CTE.

Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia

Por último se va a optar por una configuración no muy común pero que puede ser perfectamente viable. Se va a optar por dos formas de generación renovables aprovechando los datos la energía solar térmica en las dos opciones ya calculadas anteriormente junto con un sistema de generación de aerotermia.

Por lo tanto la energía aportada por la instalación solar térmica será de 15.435 kWh con la instalación de 8 paneles solares que supone el 53% de la generación como indica la Figura 13. El 47% restante será aportado por un sistema de aerotermia, serán necesarios 13.581 kWh aportados por esta tecnología.

Esta combinación estará formada con 8 paneles solares de la serie Mediterránea 250 de Baxi Calefacción como en combinaciones anteriores que se pueden ver sus datos técnicos en la Tabla 11. Para complementar se elige la misma fuente de generación de aerotermia que en la combinación 4 la bomba de calor Hydrobox Duo PUHZ-HW140YHA que en total aportará 14 kW, pero se realizará la instalación de dos unidades para que aporten 28kW, así podrá aportar el 50% de la producción en 2h.

Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia

Para esta combinación se elige la máxima aportación posible por la solar térmica y el apoyo de la aerotermia.

Como se ha calculado en la combinación 2.1 el máximo aporte que se puede considerar de la energía solar en este estudio es de 19.138 kWh. El sistema de aerotermia debe ser capaz de aportar 9.878 kWh.

Esta combinación estará formada con 12 paneles solares de la serie Mediterránea 250 de Baxi Calefacción como en combinaciones anteriores que se pueden ver sus datos técnicos en la Tabla 11. Como en el caso anterior se instalarán dos bombas de aerotermia que aportarán 28 kW para que cumpla el 50% de la producción en 2h.

Vamos a ver un resumen de todas las combinaciones que se han optado en la Tabla 16.

Combinación	Energía aportada por fuentes de energía renovable (kWh)	Energía aportada por fuentes de energía convencional (kWh)
<i>1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural</i>	15.435	13.581
<i>1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica</i>	15.435	13.581
<i>1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets</i>	15.435 + 13.581	-
<i>2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural</i>	19.138	9.878
<i>2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica</i>	19.138	9.878
<i>2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets</i>	19.138 + 9.878	-
<i>3 100% Caldera de Pellets</i>	29.016	-
<i>4 100% Aerotermia</i>	29.016	-
<i>5.1 50% Solar + Aerotermia</i>	15.435 + 13.581	-
<i>5.2 Máxima energía solar + Aerotermia</i>	19.138 + 9.878	-

Tabla 17 Resumen combinaciones y consumos

Capítulo 4 – Estudio de viabilidad económica y medioambiental.

4.1 Presupuesto de Instalación de los diferentes sistemas de generación

Este apartado se va encargar de analizar los diferentes desembolsos que supondría la instalación de las diferentes combinaciones realizadas. Con estos datos se podrán analizar junto al siguiente apartado el coste total y la mejor opción económicamente para la instalación.

Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural

Para la instalación de los paneles solares necesitaremos las placas pero también tuberías para conectar el circuito primario con el interacumulador. Por lo tanto según los planos se necesitaran aproximadamente 20 metros de tuberías para instalar el circuito solar. También serán necesarios los soportes para la instalación de las placas sobre un suelo plano, sus accesorios de montaje y para completar la instalación térmica solar será necesario una bomba de circulación para mover el líquido en el circuito primario. Por otra parte para montar la caldera de gas por condensación será necesario un kit de instalación individual y la chimenea para la salida de humos.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	8	670	5.360 €
Soportes placas solares dobles	4	271	1.084 €
Accesorios de montaje	4	55	220 €
Tubería de cobre 22mm	25	6	150 €
Caldera de gas Power HT Plus 90F	1	4711	4.711 €
Chimenea de salida de humos	1	18	18 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Kit hidráulico individual	1	1433	1.433 €
Total			13.408 €

Tabla 18 Coste instalación combinación 1.1

Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica

En esta combinación la instalación de la energía solar térmica es el mismo caso que en la combinación 1.1. Por lo que se refiere al sistema de generación eléctrico se van a instalar tres calderas para poder suministrar la potencia suficiente.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	8	670	5.360 €
Soportes placas solares dobles	4	271	1.084 €
Accesorios de montaje	4	55	220 €
Tubería de cobre 22mm	25	6	150 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Caldera eléctrica	3	1791	5.373 €
			0 €
Total			12.619 €

Tabla 19 Coste de instalación de la combinación 1.2

Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets

La instalación junto a la caldera de pellets tendrá una primera parte que es la instalación de la generación térmica que requiere lo mismo que en la combinación 1.1. Por otra parte para la instalación de la caldera de pellets requeriremos de salida de humos y de un depósito de reserva complementario para aumentar su capacidad y también para adaptar la producción de energía a la ACS.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	8	670	5.360 €
Soportes placas solares dobles	4	271	1.084 €
Accesorios de montaje	4	55	220 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Tubería de cobre 22mm	25	6	150 €
Caldera de pellets Biomass HM 66	1	7.543	7.543 €
Depósito de reserva con acumulador ACS	1	745	745 €
Chimenea de salida de humos	1	18	18 €
Total			15.552 €

Tabla 20 Coste instalación combinación 1.2

Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural

Para la instalación de la combinación 2.1 maximizando la energía solar que se va a suministrar, hacen falta 12 placas como se ha visto en la combinación 2.1 del apartado 3.5, junto a las placas harán falta 6 soportes dobles para conectarlas en serie de dos en dos y para ponerlas en la inclinación deseada para minimizar las pérdidas. Al haber más placas la longitud necesaria de tuberías se incrementa por las múltiples conexiones, así que serán necesarios alrededor de 30m de tubería de cobre. La caldera de gas requerirá de las mismas instalaciones que en la combinación 1.1.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	12	670	8.040 €
Soportes placas solares dobles	6	271	1.626 €
Accesorios de montaje	6	55	330 €
Tubería de cobre 22mm	30	6	180 €
Caldera de gas Power HT Plus 90F	1	4711	4.711 €
Chimenea de salida de humos	1	18	18 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Kit hidráulico individual	1	1433	1.433 €
Total			16.770 €

Tabla 21 Coste instalación combinación 2.1

Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica

Para las placas térmicas utilizaremos la misma combinación que en la combinación 2.1 y para la caldera será la misma instalación que en la anterior combinación con caldera eléctrica.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	12	670	8.040 €
Soportes placas solares dobles	6	271	1.626 €
Accesorios de montaje	6	55	330 €
Tubería de cobre 22mm	30	6	180 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Caldera eléctrica	3	1791	5.373 €
Total			15.981 €

Tabla 22 Coste instalación combinación 2.2

Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets

Este caso es similar al anterior porque se mantiene la instalación solar y la caldera de pellets de la combinación 1.3. Por lo tanto se eligen las mismas instalaciones que en elecciones anteriores.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	12	670	8.040 €
Soportes placas solares dobles	6	271	1.626 €
Accesorios de montaje	6	55	330 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Tubería de cobre 22mm	30	6	180 €
Caldera de pellets Biomass HM 66	1	7543	7.543 €
Depósito de reserva con acumulador ACS	1	745	745 €
Chimenea de salida de humos	1	18	18 €
Total			18.914 €

Tabla 23 Coste instalación combinación 2.3

Combinación 3 – 100% Caldera Pellets

La combinación solamente tiene un sistema de producción por ello la instalación resulta más simple. Será necesario un depósito además del que lleva la propia caldera de pellets para obtener una autonomía suficiente y más larga para por lo menos una o dos semanas. También volverá a hacer falta una chimenea para la salida de humos pero

será necesario una chimenea con un tiro un poco más ancho ya que la potencia de la caldera es mayor y generará mayores emisiones de residuos.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Caldera Pellets Domusa Bioclass HM 25/66	1	8335	8.335 €
Depósito de reserva con acumulador ACS	1	745	745 €
Chimenea de salida de humos	1	22	22 €
Total			9.102 €

Tabla 24 Coste instalación combinación 3

Combinación 4 – 100% Aerotermia

El sistema de aerotermia es otro sistema que utiliza solamente un sistema de generación, pero en este caso se utilizarán tres unidades de generación de 14kW. Estas unidades de generación también tiene dos unidades cada una, tres unidades exteriores que estarán instaladas en la azotea y otras tres interiores que irán en el cuarto de generación explicado en el apartado 3.4. Serán necesarios tres kits de herramientas para adaptar el sistema para el consumo de ACS.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Sistema de aerotermia Mitsubishi Electric Hydrobox Duo PUHZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C	3	7569	22.707 €
Kit de adaptadores instalación	3	68	204 €
Total			22.911 €

Tabla 25 Coste instalación combinación 4

Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia

El sistema renovable combinado hará falta 8 placas solares con sus respectivos complementos para adaptar las placas y el sistema completo. El segundo sistema hace falta el sistema de aerotermia Hydrobox Duo PUHZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C y el kit para adaptarlo a la ACS.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Sistema de aerotermia Mitsubishi Electric Hydrobox Duo PUHZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C	2	7569	15.138 €
Kit de adaptadores instalación	2	68	136 €
Placas solares Mediterráneo 250	8	670	5.360 €
Soportes placas solares dobles	4	271	1.084 €
Accesorios de montaje	4	55	220 €
Tubería de cobre 22mm	25	6	150 €
Total			22.088 €

Tabla 26 Coste instalación combinación 5.1

Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia

El sistema renovable combinado hará falta 12 placas solares con sus respectivos complementos para adaptar las placas y el sistema completo. Para el apoyo se montará la bomba de calor con su kit de adaptación ACS.

Elemento	Unidades o metros	PVP por unidad o metro (€)	PVP Conjunto (€)
Placas solares Mediterráneo 250	12	670	8.040 €
Soportes placas solares dobles	6	271	1.626 €
Accesorios de montaje	6	55	330 €
Bomba de circulación SB-50 XA	1	432	432 €
Tubería de cobre 22mm	30	6	180 €
Sistema de aerotermia Mitsubishi Electric Hydrobox Duo PUHZ-HW140YHA + EHPT20X-VM2C	2	7569	15.138 €
Kit de adaptadores instalación	2	68	136 €
Total			25.882 €

Tabla 27 Coste instalación combinación 5.2

Para un mejor análisis se va a resumir todas las opciones y sus costes.

Combinación	Coste total
<i>1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural</i>	13.408 €
<i>1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica</i>	12.619 €
<i>1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets</i>	15.552 €
<i>2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural</i>	16.770 €
<i>2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica</i>	15.981 €
<i>2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets</i>	18.914 €
<i>3 100% Caldera de Pellets</i>	9.102 €
<i>4 100% Aerotermia</i>	22.911 €
<i>5.1 50% Solar + Aerotermia</i>	22.088 €
<i>5.2 Máxima energía solar + Aerotermia</i>	25.882 €

Tabla 28 Resumen de costes de instalación.

Por tanto la opción más viable si solamente se tuviera en consideración el criterio económico en cuanto a la instalación se refiere sería la combinación 3 con solamente una caldera de pellets.

4.2 Presupuesto de Explotación

En este apartado se va a proceder a calcular el coste de explotación anual de cada una de las diferentes combinaciones para establecer un criterio más para la elección de la combinación elegida. Se va a tener en cuenta todos los consumos que puedan aparecer durante el sistema de generación de energía para producir ACS.

Para ello se han tenido en cuenta los siguientes precios de los diferentes tipos de energía que se han obtenido y se muestran en la Tabla 29. Los precios se han obtenido de la página web www.tarifasgasluz.com que es un comparador de precios de energía y para el pellet se ha obtenido de www.avebio.org que realiza un estudio trimestral del precio de las biomásas (en este caso se ha utilizado el precio del segundo semestre de 2019 y la forma de entrega en palet).

Tipo de Energía	Precio (€/kWh)
<i>Pellet</i>	0,0592
<i>Gas Natural</i>	0,05
<i>Electricidad</i>	0,13

Tabla 29 Índice de precios de la energía (€/kWh)

Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural

Se va a proceder a calcular en dos partes el coste de explotación de esta combinación, por una parte tendremos el coste asociado a la producción por energía solar térmica y por otro lado el coste asociado a la caldera de gas natural.

- La energía solar térmica su fuente de energía es el sol por lo que no tiene costes directos asociados por consumo de energía, ya que hasta el momento la energía solar es gratuita. Por otro lado si es necesario mencionar el coste de la bomba de circulación que es requerida para mover el líquido termoconductor por el circuito primario. La bomba elegida en el apartado 3.4 se puede observar en la Tabla 7 que tiene un consumo de 114-70 W se va a elegir un valor medio para hacer la valoración 92W. La bomba trabaja continuamente durante todo el día.

$$0,092kW \cdot 24h \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 365\text{días} = 104,76\text{€}$$

Coste asociado a la energía solar térmica será 104,76 € anuales. Este cálculo será válido para todas las combinaciones de energía solar ya que el consumo de la bomba no varía según las opciones.

- La segunda fuente de energía utilizada en esta combinación es la caldera de gas natural que como podemos ver en la Tabla 12 tiene un rendimiento del 97,73% por lo tanto para aportar los 13.581 kWh será necesario que el gas natural aporte 13.896 kWh. Por otra parte a la caldera de gas va asociado también un consumo eléctrico de 146W, para calcular los wattios eléctricos necesarios se va a suponer que la caldera está en marcha 3h al día debido a los consumos en hora punta.

$$13.896 \text{ kWh} \cdot 0,05 \text{ €} \cdot \text{kWh} + 0,146 \text{ kW} \cdot 0,13 \cdot 3h \cdot 365\text{días} = 715,58 \text{ €}$$

Por lo tanto el coste asociado a la caldera de gas natural es de 715,58€ anuales.

Por lo tanto el coste anual asociado a la combinación 1.1 es de 820,34€ anuales.



Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica

Se va a calcular el coste de la combinación 1.2 con energía solar y el sistema de caldera eléctrico.

- El coste relacionado con la energía solar térmica es el mismo que el de la combinación 1.1. Un total de 104,76 €.
- Las calderas eléctricas deben aportar 13.581 kWh. El rendimiento de las calderas eléctricas es del 95% como se puede comprobar en la Tabla 13 por tanto se debe aportar 14.295 kWh brutos.

$$14.295 \text{ kWh} \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1.858,45 \text{ €}$$

El coste total anual de esta combinación sería de 1.963,22 €.

Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets

En la combinación que se va a calcular los gastos de explotación se van a tomar datos calculados en este mismo apartado en la combinación 1.1.

- La energía solar térmica necesaria son 104,76 € anuales como se ha calculado en la combinación 1.1.
- La segunda fuente de energía utilizada es la caldera de pellets que según la Tabla 14 tiene un rendimiento de 92,1% y debe aportar 13.581 kWh netos. Por lo tanto debe aportar 14.745 kWh brutos. También según su apartado técnico tiene un consumo eléctrico asociado de 485 W. Como hemos realizado en la combinación 1.1 suponemos que en total la caldera de pellet estará en marcha 3h al día.

$$14.745 \text{ kWh} \cdot 0,0592 \text{ €} \cdot \text{kWh} + 0,485 \text{ kW} \cdot 0,13 \cdot 3 \text{ h} \cdot 365 \text{ dias} \\ = 977,73 \text{ €}$$

El coste de explotación total de la combinación 1.3 es de 1.046,77 €.

Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural

Esta combinación de energía para genera ACS se compone de dos sistemas de generación, los paneles solares y la caldera de gas.

- Los paneles solares aportarán 19.138 kWh, y como se ha maximizado el consumo de energía solar térmica habrá más paneles solares. Sin embargo la bomba seleccionada es la misma y estará todo el tiempo en funcionamiento. Por lo tanto como ya se ha calculado en la combinación 1.1 el coste eléctrico de la bomba de circulación será de 104,76 €.
- El resto de energía deberá ser aportada por el sistema de generación de gas, será un total de 9.878 kWh. De la Tabla 12 encontramos que el rendimiento de la caldera es de 97.73%. Por lo tanto la caldera deberá aportar 10.107 kWh brutos. Como la energía aportada es menor que el apartado anterior supondremos que solamente trabaja 2h para calcular la energía eléctrica.

$$10.107 \text{ kWh} \cdot 0,05 \text{ €} \cdot \text{kWh} + 0,146 \text{ kW} \cdot 0,13 \cdot 2 \text{ h} \cdot 365 \text{ dias} \\ = 519,20 \text{ €}$$

El total de coste anual en la combinación 2.1 es de 623,96 €.

Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica

Se va a calcular el coste anual de la explotación de esta combinación.

- La energía solar térmica al igual que en todas las otras opciones tiene un coste de explotación de 104,76€.
- El aporte necesario por parte de las calderas eléctricas es de 9.878 kWh como se puede comprobar en la Tabla 13 el rendimiento de la caldera es del 95% lo que resulta un aporte total bruto de 10.398 kWh.

$$10.398 \text{ kWh} \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1.351,73\text{€}$$

El coste total de explotación de esta combinación es de 1.456,50€.

Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets

Se procede a calcular el coste de la energía solar y de la caldera de pellets para esta combinación.

- La energía solar térmica necesaria son 104,76 € anuales como se ha calculado en la combinación 1.1.
- La segunda fuente de energía utilizada es la caldera de pellets que según la Tabla 14 tiene un rendimiento de 92,1% y debe aportar 9.878 kWh netos. La



caldera deberá aportar un total de 10.736 kWh y también según su apartado técnico tiene un consumo eléctrico asociado de 485 W. Como hemos realizado en la combinación 2.1 suponemos que en total la caldera de pellet estará en marcha 2h al día.

$$10.736 \text{ kWh} \cdot 0,0592 \text{ €} \cdot \text{kWh} + 0,485 \text{ kW} \cdot 0,13 \cdot 2\text{h} \cdot 365\text{dias}$$

$$= 681,65 \text{ €}$$

El total de la combinación es de 786,41 €.

Combinación 3 – 100% Caldera Pellets

Este es el primer caso que solamente se tiene un sistema de generación, el cual debe aportar toda la energía anual necesaria.

La caldera de pellets elegida tiene un rendimiento nominal 92,8% como se puede observar en la Tabla 15 que están reflejadas sus características técnicas. Si la caldera debe aportar 29.016 kWh netos durante todo el año será necesario un aporte de 31.137 kWh brutos. A parte también se debe considerar el aporte eléctrico necesario para la caldera es de 485 W para funcionar, como solamente trabaja la caldera se van a suponer 8h de funcionamiento todos los días del año.

$$31.137 \text{ kWh} \cdot 0,0592 \text{ €} \cdot \text{kWh} + 0,485 \text{ kW} \cdot 0,13 \cdot 8\text{h} \cdot 365\text{dias}$$

$$= 2.027\text{€}$$

El coste de aporte de energía solamente con la caldera de pellets supone un coste total de 2.027 € anuales.

Combinación 4 – 100% Aerotermia

Se va a realizar otro estudio de explotación de solamente una fuente de energía. En este caso la de aerotermia. En la aerotermia en lugar de tomar el rendimiento se debe tener en cuenta el COP, como en la Tabla 16 nos proporcionan 3 datos de COP según temperaturas, se va a coger para realizar los cálculos el COP medio 3,11. Para ello como se deben suministrar 29.016 kWh térmicos para el ACS.

$$\frac{29.016 \text{ kWh}}{3,11} = 9.291,32 \text{ kWh eléctricos}$$

Serán necesarios 9.291,32 kWh eléctricos para generar todo el aporte calorífico necesario.



$$9.291,32 \text{ kWh} \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1.207,87 \text{ €}$$

El coste de producir el ACS con aerotermia es de 1.207,87 €.

Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia

Se vuelve a tener en consideración sistemas mixtos, en este caso energía solar térmica y aerotermia, una combinación con coste de explotación supuestamente bastante bajo.

- El coste de la energía solar térmica para esta combinación es el mismo que en la combinación 1.1 ya que aportaremos aproximadamente el 52% de la energía mediante este sistema. Solamente se debe tener en cuenta el consumo de la bomba de circulación. Por lo tanto el coste es de 104,76 €.
- El sistema de aerotermia deberá aportar la energía restante que son 13.581 como se puede ver en la Tabla 16. El COP del sistema es el 3,11.

$$\frac{13.581 \text{ kWh}}{3,11} \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 567,7 \text{ €}$$

El coste anual de esta combinación de sistemas de generación es de 672,45 €.

Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia

La última combinación será como la combinación anterior de energía solar térmica y aerotermia. En este caso se ha maximizado el aporte de la energía solar térmica.

- Este caso es el mismo que en la combinación 2.1 el apartado de energía solar, por lo tanto el coste es de 104,76€
- En el caso de aporte de aerotermia, el sistema deberá aportar 9.878 kWh térmicos con un COP de 3,11.

$$\frac{9.878 \text{ kWh}}{3,11} \cdot 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 410,7 \text{ €}$$

El coste total de la explotación de esta combinación es de 515,45 €.

En la Tabla 29 se pueden observar todos los costes de explotación de las diferentes combinaciones.

Combinación	Coste de explotación
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	820,38 €
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	1.963,22 €
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	1.046,77 €
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	623,69 €
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	1.456,50 €
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	786,41 €
3 100% Caldera de Pellets	2.027,47 €
4 100% Aerotermia	1.207,87 €
5.1 50% Solar + Aerotermia	672,46 €
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	515,46 €

Tabla 30 Resumen de costes de explotación.

Observando la Tabla 29 se puede llegar a la conclusión que si solo tomamos el coste de explotación las opciones que incluyen energía solar térmica que no exige coste por materia prima son las más baratas. En este análisis la opción más viable por costes sería la combinación 5.2 que combina la energía térmica solar con la máxima aportación posible y un sistema de generación por aerotermia.

4.3 Estudio de emisiones de CO₂ de las diferentes combinaciones de generación.

Una parte importante de este estudio está relacionado con el cambio climático por ello se pretende estudiar de las diferentes propuestas las emisiones de CO₂ generadas y expulsadas a la atmosfera.

Para ello se tendrá en cuenta las emisiones directamente generadas por los sistemas de producción de energía, pero también se van a tener en cuenta las emisiones generadas por el consumo eléctrico asociado a las combinaciones.

Se han tomado como valores de referencia para los kg de CO₂ por kWh de la Tabla X. Estos valores se han tomado del documento de Factores de Emisión del Ministerio para la Transición Ecológica. Para el factor de la energía eléctrica se ha seleccionada el valor de emisiones de una de las más grandes del país como es Endesa. La energía térmica proviene del sol por lo tanto no genera emisiones de CO₂. Por último la biomasa (pellet en este estudio) se considera como una fuente de energía neutra, ya que

las emisiones de CO₂ a la atmosfera son compensadas por la fotosíntesis durante la vida de los vegetales.

Fuente de energía	Factor de Emisión (kg CO ₂ /kWh)
<i>Gas Natural</i>	0,203
<i>Energía Solar Térmica</i>	0
<i>Fuentes de Biomasa (Pellets)</i>	0
<i>Eléctrica</i>	0,36

Tabla 31 Factor de emisión de las fuentes de energía

Combinación 1.1 – 50% Solar y Caldera Gas Natural

La primera combinación está formada por generación solar y generación en caldera de gas natural.

- En la energía solar térmica no se tiene ninguna emisión por quemado de materia prima porque su fuente de energía es el Sol. Sin embargo si existe un consumo eléctrico asociado a la bomba de circulación del circuito primario para generar movimiento y que el fluido termoconductor consiga intercambiar el calor con el sol en el interacumulador y en las placas solares. Se va a considerar que la bomba permanece en funcionamiento continuamente i tiene una potencia de 92W lo que será un total de 806 kWh.
- La caldera de gas natural genera emisiones de CO₂ en la combustión del gas natural para generar calor pero también existe un coste eléctrico de la caldera por encendido, apagado, circuitos internos... Se va a considerar para el caso que la caldera permanece encendida 3h en esta combinación y tiene un consumo de 146 W por lo tanto en total de 160 kWh La energía bruta necesaria es de 13.896 calculada en el apartado 4.2 combinación 1.

Elemento	Energía bruta necesaria	kg/kWh	Kg de CO ₂ emitidos
Placas Solares	806	0,360	290
Caldera de Gas Natural	13.896	0,203	2.821
Coste eléctrico de la caldera	160	0,360	58
Total			3.111

Tabla 32 Emisiones de CO₂ combinación 1.1

Combinación 1.2 – 50% Solar y Caldera Eléctrica

La energía consumida por la esta combinación es completamente eléctrica para contabilizar las emisiones de CO₂.

- La energía solar térmica tendrá como en la combinación 1.1 una demanda de la bomba de circulación.
- Por lo que respecta a las calderas eléctricas se va a calcular las emisiones relacionadas con su consumo eléctrico. Para poder calentar la energía necesaria se requería un total de 14.295 kWh.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,36	290
Caldera Eléctrica	14.295	0,36	5.146
Total			5.436

Tabla 33 Emisiones de CO₂ combinación 1.2

Combinación 1.3 – 50% Solar y Caldera Pellets

- En el apartado solar tendremos el mismo caso que en la combinación 1.1.
- En la caldera de pellets no se tendrá ninguna emisión de CO₂ asociada a la combustión del pellet ya que se considera neutro. Sin embargo sí que existe un consumo eléctrico de la caldera de pellets para mantener el circuito eléctrico de la caldera, suministro de pellet, encendido, apagado, etc. El consumo se va a suponer igual que en el caso de gas natural 3h de consumo eléctrico. Como tiene un consumo de 485 W tenemos un consumo total de electricidad de 531 kWh.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,360	290
Caldera de Pellets	14.746	0	-
Coste eléctrico de la caldera	531	0,360	191
Total			481

Tabla 34 Emisiones de CO₂ combinación 1.3

Combinación 2.1 – Máxima Energía Solar y Caldera Gas Natural

- En esta combinación aunque se ha aumentado la generación mediante energía solar térmica se va a seguir valorando igual la bomba de circulación que estará continuamente funcionando. Por lo tanto tendremos los mismos kWh de consumo eléctrico que la combinación 1.1.
- Para este caso el consumo de gas natural se reduce ya que el aporte de la caldera es menor el aporte bruto será de 10.053 kWh. Como se reduce el nivel de generación de ACS mediante este sistema se va a considerar solamente 2 h de funcionamiento para evaluar el consumo eléctrico de la caldera.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,360	290
Caldera de Gas Natural	10.398	0,203	2.110
Coste eléctrico de la caldera	107	0,360	38
Total			2.438

Tabla 35 Emisiones de CO₂ de la combinación 2.1

Combinación 2.2 – Máxima Energía Solar y Caldera Eléctrica

- La energía solar térmica tendrá como en la combinación 1.1 una demanda de la bomba de circulación.
- Por lo que respecta a las calderas eléctricas se va a calcular las emisiones relacionadas con su consumo eléctrico. Para poder calentar la energía necesaria se requería un total de 10.397 kWh.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,36	290
Caldera eléctrica	10.397	0,36	3.743
Total			4.033

Combinación 2.3 – Máxima Energía Solar y Caldera de Pellets

- En el apartado solar térmico es el mismo cálculo que en la combinación 1.1.

- Para la caldera de pellets solamente se tendrá en cuenta el consumo eléctrico. Igual que en la combinación 2.3 esta vez se tomara en cuenta solamente 2h de funcionamiento. Como el consumo eléctrico de la caldera es de 485 W tendremos un total de 354kWh.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,36	290
Caldera de Pellets	10.736	0	-
Coste eléctrico de la caldera	354	0,360	127
Total			418

Tabla 36 Emisiones de CO₂ de la combinación 2.3

Combinación 3 – 100% Caldera Pellets

En esta opción solamente tenemos un sistema de generación, encima es un sistema de generación por biomasa por lo tanto solamente tendremos generación de CO₂ por el consumo eléctrico de la caldera. En este caso como debe proporcionar el 100% de la energía necesaria para producir el ACS se va a pensar que la caldera necesitar energía eléctrica durante 8h al día, lo que hace un total de 1.416 kWh.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Coste eléctrico de la caldera	1.416	0,36	510
Caldera de Pellets	31.138	0	-
Total			510

Tabla 37 Emisiones de CO₂ de la combinación 3

Combinación 4 – 100% Aerotermia

Esta es otra opción con solamente un sistema de generación y como es aerotermia solamente tendremos consumo de energía eléctrica. Como debe de aportar el 100% de la energía suministrada al ACS, se va a optar por realizar el cálculo considerando el COP 3,11. Por lo tanto será necesarios un total de 9.291 kWh eléctricos.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Caldera de aerotermia	9.291	0,36	3.345
Total			3.345

Tabla 38 Emisiones de CO₂ de la combinación 4

Combinación 5.1 – 50% Energía Solar Térmica y Aerotermia

Se vuelve a tener una combinación de generación de dos tipos de sistemas de producción.

- En el apartado solar térmico es el mismo cálculo que en la combinación 1.1.
- El sistema de generación de aerotermia debe aportar un total de 13.581 kWh. Al ser el mismo sistema de generación de todo el proyecto el COP es de 3,11 por lo tanto serán necesarios un total de 4.367 kWh de energía eléctrica.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,36	290
Sistema de aerotermia	4.367	0,36	1.572
Total			1.862

Tabla 39 Emisiones de CO₂ de la combinación 5.1

Combinación 5.2 – Máxima energía solar y Aerotermia

- En el apartado solar térmico es el mismo cálculo que en la combinación 1.1.
- El sistema de generación de aerotermia debe aportar un total de 9.878 kWh. Al ser el mismo sistema de generación de todo el proyecto el COP es de 3,11 por lo tanto serán necesarios un total de 3.159 kWh de energía eléctrica.

Elemento	Energía bruta necesaria	Emisiones de CO2 kg/kWh	Massa total de CO2 (kg)
Energía solar Térmica	806	0,36	290
Sistema de aerotermia	3.159	0,36	1.137
Total			1.427

Tabla 40 Emisiones de CO₂ de la combinación 5.2

Como se puede observar en la Figura 19 las combinaciones que tienen un mayor aporte de energía eléctrica y generación con caldera de pellets son las que menos emisiones de CO₂ generan debido a sus emisiones nulas por materia prima.

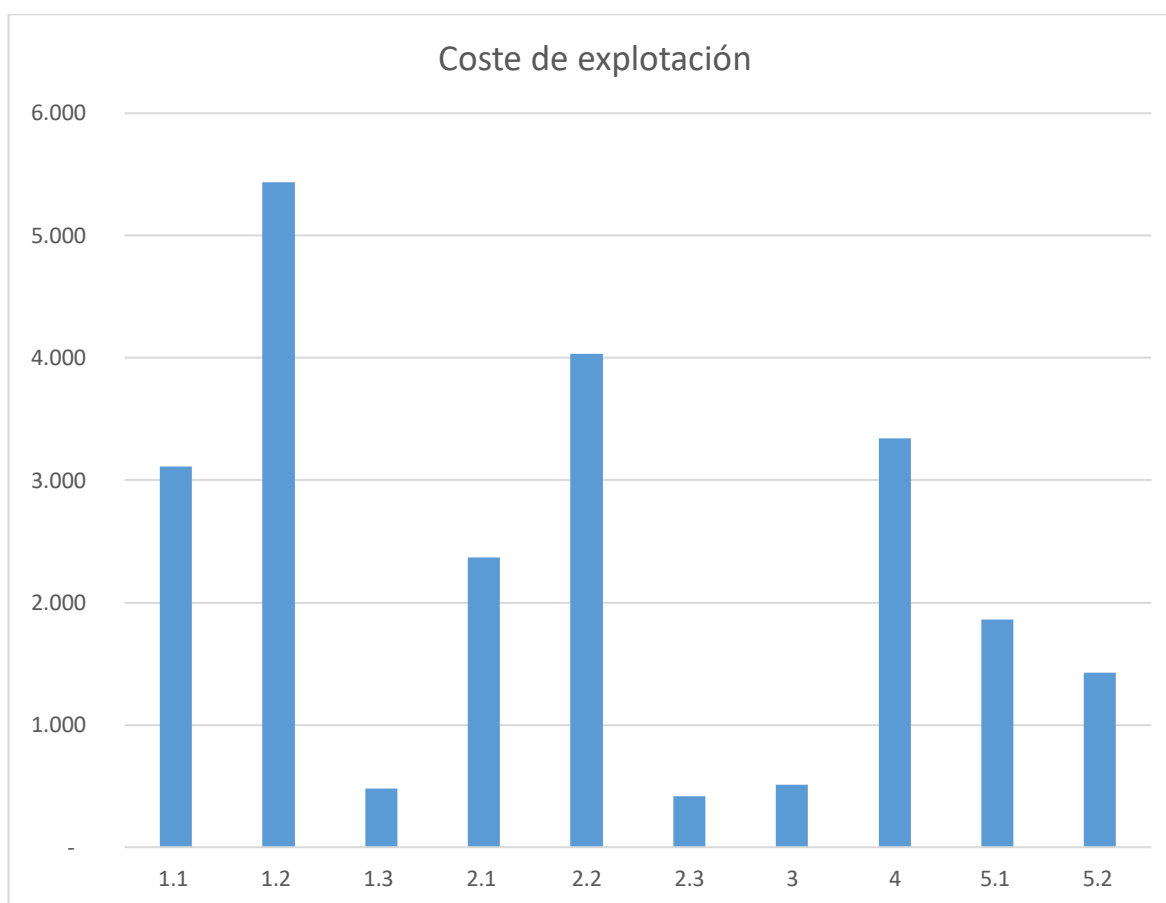


Figura 19 Gráfico de emisiones de CO2

4.4 Análisis y elección de la mejor combinación

En este apartado se va realizar el estudio de las distintas combinaciones mediante la técnica Analytical Hierarchy Process (AHP) para escoger la mejor combinación.

Esta herramienta, basada en matemáticas y psicología, fue desarrollada por Thomas L. Saaty en los setenta y ha sido extensivamente estudiada y refinada, desde entonces. En la actualidad es una de las herramientas más usadas en la toma de decisiones.

AHP es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores

Este proceso se va dividir en tres fases: jerarquización, establecimiento de las prioridades y valoración de alternativas.

En la primera fase de jerarquización se van a establecer los diferentes criterios:

C1. Criterio de inversión.

Coste de los sistemas de generación y los diferentes elementos necesarios para ello.

C2. Dificultad de instalación.

Se va a valorar la complejidad de la realización de la instalación de los diferentes sistemas de generación de ACS.

C3. Mantenimiento de los sistemas de generación de ACS.

Se va a valorar la dificultad del mantenimiento de los diferentes sistemas.

C4. Coste de explotación

Se valorará los costes que implican la utilización de las diferentes combinaciones.

C5. Emisiones de CO₂.

Referido a las emisiones de CO₂ que generará la explotación de las diferentes combinaciones.

En la fase del establecimiento de las prioridades de cada criterio, es necesario asignar un valor numérico a un criterio en función del otro. Se compara el criterio *i* con el *j* y se asignan estos valores según lo descrito en la Tabla 41.

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

Tabla 41 Valores para las combinaciones del método AHP.

De manera que siempre se establecerá un criterio de manera que si el criterio *ij* es tiene una importancia *x* sobre el criterio *ji* y el criterio *ji* tiene una importancia $1/x$ sobre el criterio *ij*.

Para realizar correctamente las valoraciones se estableció 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 apartado 1 del Anexo.

Los resultados del cuestionario transferidos a la matriz para obtener las prioridades se pueden ver en la Tabla 42. La media geométrica se obtiene al multiplicar los n elementos y obtener su raíz, por otra parte la media geométrica normalizada se obtiene dividiendo el valor de la media geométrica por la suma de las medias geométricas.

	C1	C2	C3	C4	C5	Media geométrica	Media geométrica normalizada
C1	1,00	8,00	7,00	1,00	6,00	3,20	0,41
C2	0,13	1,00	0,33	0,14	0,25	0,27	0,03
C3	0,14	3,00	1,00	0,14	0,50	0,50	0,06
C4	1,00	7,00	7,00	1,00	7,00	3,21	0,41
C5	0,17	4,00	2,00	0,14	1,00	0,72	0,09

Tabla 42 Cálculo del vector de prioridades

Para dar validez a los valores que se han considerado se debe calcular el ratio de consistencia (CR), ya que nos indicara si se han establecido valores coherentes o no.

Para ello primero se necesita calcular el índice de consistencia (CI) que se obtiene mediante la fórmula siguiente. Donde λ_{max} es el autovalor principal de la matriz y n es la dimensión de la matriz.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,254 - 5}{5 - 1} = 0,063$$

Otro valor necesario para calcular el CR es el de obtener el índice de consistencia (RI) que se puede establecer gracias al número de criterios y mirando en la Tabla 43.

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 43 Valores índice de constancia (RI)

Ahora solamente falta calcular con la ecuación relativa al ratio de consistencia que se indica en la ecuación siguiente:



$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,063}{1,115} = 0,057$$

Para $n \geq 5$, se aceptan valores $CR \leq 0,10$ por lo tanto el valor está dentro del rango adecuado.

Para completar la fase se va a hacer uso de ratings. Los ratings se van a usar para evaluar las alternativas respecto a los criterios sin contar con el resto de alternativas. Esta evaluación se realiza en base a unas categorías establecidas para cada criterio, a las que se les asignan unos valores según la opinión del experto.

Por lo tanto se tendrá dentro de cada categoría un valor ideal que tendrá asignado el valor 1 y para el resto de combinaciones irá disminuyendo su valor.

Se van a valorar los ratings de los diferentes criterios y combinaciones.

C1. Criterio de inversión

El coste de inversión será el único criterio junto al de emisiones de CO₂ que no será valorado por ratings y se hará un reparto proporcional, esto nos dará mayor precisión para valorar el coste de instalación.

Para poder valorar los resultados obtenidos en este criterio se va a realizar con las siguientes consideraciones:

- Los cálculos se realizarán con la inversa del coste, ya que se va a utilizar la maximización para escoger la mejor alternativa.
- La columna de valor normalizado se calcula dividiendo cada valor de la inversa entre la suma de todas las inversas.
- Para poder comparar con los ratings se escogerá el máximo valor normalizado y se dividirán todos los valores entre este.

Combinaciones	Coste total	Valor inverso del coste	Valor normalizado	Valor idealizado
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	13.408 €	7,46E-05	0,118	0,68
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	12.619 €	7,92E-05	0,126	0,72
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	15.552 €	6,43E-05	0,102	0,59
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	16.770 €	5,96E-05	0,095	0,54
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	15.981 €	6,26E-05	0,099	0,57
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	18.914 €	5,29E-05	0,084	0,48
3 100% Caldera de Pellets	9.102 €	1,10E-04	0,174	1,00
4 100% Aerotermia	22.911 €	4,36E-05	0,069	0,40
5.1 50% Solar + Aerotermia	22.088 €	4,53E-05	0,072	0,41
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	25.882 €	3,86E-05	0,061	0,35

Tabla 44 Cálculo de valores idealizados del criterio 1

C2. Dificultad de instalación

Se va a valorar la dificultad de instalación de las diferentes combinaciones. Para ello se va a tener en cuenta diferentes criterios como el transporte hasta el tejado que sería el lugar de generación, el montaje, el transporte necesario, etc.

También se va a valorar por categorías las distintas combinaciones y el rating que se establecería según la complejidad para realizar la valoración por el AHP. Estas valoraciones se pueden ver en la Tabla 45.

Categoría	Ratings
Muy fácil (todos los sistemas de generación son sencillos de instalar)	1
Fácil (un sistema es sencillo de instalar y el otro tiene una complejidad media)	0,8
Medio (todos los sistemas tienen una complejidad media de instalación o, uno es complejo y el otro fácil)	0,5
Difícil (un sistema tiene complejidad media o fácil de instalación y el otro sistema es bastante complejo de instalar)	0,3
Muy difícil (todos los sistemas de generación tienen una alta dificultad de instalación)	0,1

Tabla 45 Valores para las combinaciones del método AHP para C2

En la Tabla 46 se puede ver la valoración según los ratings indicados de las diferentes combinaciones.

Combinaciones	Dificultad	Rating
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	Difícil	0,30
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	Medio	0,50
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	Medio	0,50
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	Difícil	0,30
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	Medio	0,50
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	Medio	0,50
3 100% Caldera de Pellets	Fácil	0,80
4 100% Aerotermia	Muy Fácil	1,00
5.1 50% Solar + Aerotermia	Medio	0,50
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	Medio	0,50

Tabla 46 Cálculo de valores idealizados del criterio 2

C3. Mantenimiento técnico de los sistemas

Se va a valorar el sistema de mantenimiento de las diferentes combinaciones. Para ello se tendrá en cuenta la dificultad técnica, la frecuencia, limpieza, etc.

Categoría	Ratings
Muy fácil (todos los sistemas de generación tienen un mantenimiento sencillo)	1
Fácil (un sistema es sencillo de mantener y el otro tiene una complejidad media)	0,8
Medio (todos los sistemas tienen una complejidad media de mantenimiento o, uno es complejo y el otro fácil)	0,5
Difícil (un sistema complejidad media o fácil de mantenimiento y el otro sistema es bastante complejo de instalar)	0,3
Muy difícil (todos los sistemas de generación tienen una alta dificultad de mantenimiento)	0,1

Tabla 47 Ajuste de ratings criterio 3.

Combinaciones	Dificultad	Rating
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	Difícil	0,30
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	Medio	0,50
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	Muy difícil	0,10
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	Difícil	0,30
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	Medio	0,50
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	Muy difícil	0,10
3 100% Caldera de Pellets	Difícil	0,30
4 100% Aerotermia	Fácil	0,80
5.1 50% Solar + Aerotermia	Medio	0,50
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	Medio	0,50

Tabla 48 Cálculo de valores idealizados del criterio 3

En la Tabla 48 se puede ver la valoración del mantenimiento según la combinación.

C4. Coste de explotación

Para valorar los costes de explotación vamos a usar los ratings entre ciertos valores aunque es un valor cuantitativo. Se va a utilizar este método debido a que las diferencias de costes de explotación no son excesivamente grandes entre muchos valores y puede tener una gran repercusión. En la Tabla 49 se muestran los rangos y los ratings seleccionados.

Rango	Rating
< 700	1
700 - 900	0,9
900 - 1.100	0,8
1.100 - 1.300	0,7
1.300 - 1.500	0,6
1.500 - 1.700	0,5
1.700 - 1.900	0,4
1.900 - 2.100	0,3

Tabla 49 Rangos y valoración de ratings

En la Tabla 50 se van a calcular los ratings asociados.

Combinaciones	Coste de explotación	Rating
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	820 €	0,90
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	1.963 €	0,30
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	1.047 €	0,80
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	623 €	1,00
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	1.456 €	0,60
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	786 €	0,90
3 100% Caldera de Pellets	2.027 €	0,30
4 100% Aerotermia	1.208 €	0,70
5.1 50% Solar + Aerotermia	672 €	1,00
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	515 €	1,00

Tabla 50 Cálculo de valores idealizados del criterio 4.

C5. Emisiones de CO₂

Igual que el criterio 1 las emisiones de CO₂ se van a valorar de la misma forma, usando las proporcionalidades y se procederá con el mismo método que se ha usado en el criterio 1. Se ha obtenido la Tabla 51 con los ratings calculados.

Combinaciones	Emisiones totales (kg)	Valor inverso de las emisiones	Valor normalizado	Valor idealizado
1.1 50% Solar + 100% Caldera de Gas Natural	3.111	3,21E-04	0,035	0,13
1.2 50% Solar + 100% Caldera Eléctrica	5.436	1,84E-04	0,020	0,08
1.3 50% Solar + 100% Caldera de Pellets	481	2,08E-03	0,227	0,87
2.1 Máxima energía solar + 100% Caldera de Gas Natural	24.38	4,22E-04	0,046	0,18
2.2 Máxima energía solar + 100% Eléctrica	4.033	2,48E-04	0,027	0,10
2.3 Máxima energía solar + 100% Caldera de Pellets	418	2,39E-03	0,262	1,00
3 100% Caldera de Pellets	510	1,96E-03	0,214	0,82
4 100% Aerotermia	3.345	2,99E-04	0,033	0,12
5.1 50% Solar + Aerotermia	1.862	5,37E-04	0,059	0,22
5.2 Máxima energía solar + Aerotermia	1.427	7,01E-04	0,077	0,29

Tabla 51 Cálculo de valores idealizados del criterio 5

Resultados

Los resultados indican que la mejor alternativa es la combinación 1.1 como se puede comprobar en la Tabla 52.

La casilla Suma se ha calculado multiplicando los valores obtenidos para cada criterio por su ponderación y sumando la de todos los criterios.

Para la prioridad distributiva se divide la columna suma entre el total de la columna.

Por último la prioridad ideal se divide entre la máxima prioridad distribuida todas las prioridades para poder verlo en tanto por uno.

Combinaciones	C1	C2	C3	C4	C5	Suma	Prioridad distributiva	Prioridad ideal
Vector de prioridades	0,41	0,03	0,06	0,41	0,09			
1.1	0,68	0,30	0,30	0,90	0,13	0,68	0,11	1,00
1.2	0,72	0,50	0,50	0,30	0,08	0,47	0,08	0,69
1.3	0,59	0,50	0,10	0,80	0,87	0,66	0,11	0,97
2.1	0,54	0,30	0,30	1,00	0,18	0,67	0,11	0,98
2.2	0,57	0,50	0,50	0,60	0,10	0,53	0,09	0,78
2.3	0,48	0,50	0,10	0,90	1,00	0,68	0,11	0,98
3	1,00	0,80	0,30	0,30	0,82	0,65	0,11	0,95
4	0,40	1,00	0,80	0,70	0,12	0,54	0,09	0,79
5.1	0,41	0,50	0,50	1,00	0,22	0,64	0,10	0,94
5.2	0,35	0,50	0,50	1,00	0,29	0,62	0,10	0,92

Suma 6,15

Tabla 52 Resultados análisis AHP.

Se puede observar como la mejor combinación según el análisis realizado es la opción 1.1 que combina la energía solar térmica con la caldera de gas natural, esta es una de las opciones más utilizada en el mercado. Por otra parte también debemos valorar las alternativas que prácticamente están a la par con valores superiores a 0,96, que son las alternativas 2.1, 2.3, 1.3. La configuración 2.1 es similar a la alternativa 1.1 pero con mayor aporte solar. En cambio las alternativas 2.3 y 1.3 son alternativas con energía solar térmica y pellets, que han conseguido muy buenas valoraciones.



Capítulo 5 – Conclusiones

5.1 Conclusión

Durante la realización del trabajo se han logrado alcanzar los diferentes objetivos que se habían marcado de un principio.

En un primer momento se estudió el Código Técnico de la Edificación para lograr dimensionar las necesidades de ACS del edificio a analizar. En un segundo paso gracias a la ayuda del programa CHEQ 4 se consiguió determinar el coste energético que se debía proveer mediante los diferentes sistemas de generación que se iban a estudiar. Se consiguió establecer diferentes elementos necesarios para la centralización del sistema.

Siguiendo las pautas se llegó a la parte central del proyecto, el estudio de diferentes sistemas de generación de ACS. Para ello se tuvieron en cuenta múltiples combinaciones que se ofrecen en el mercado y como se pretendía de un principio, respetando en todos los casos posibles el CTE.

En un último paso se evaluó los costes de instalación de las diferentes combinaciones, los costes de explotación, el mantenimiento de los sistemas, su dificultad de instalación y otra parte importante que se remarcaba al principio del proyecto, la emisión de CO₂. Con todo ello se realizó un estudio mediante el método Analítica Hierarchy Process (AHP) para evaluar la mejor opción posible. En nuestro estudio la mejor combinación fue la combinación 1.1 con energía térmica solar y gas natural, no obstante muy cerca de esta combinación existían otras opciones que podrían ser perfectamente viables como las opciones 1.3 con energía solar térmica y caldera de pellets, 2.1 maximizando la energía solar térmica y caldera de gas como apoyo o 2.3 maximizando la energía solar térmica y caldera de pellets como apoyo. Por motivos mayormente económicos se ha decidido elegir la opción 1.1 como opción final. Ya que esta opción tiene un coste de instalación más bajo que las mejores opciones y su coste de explotación es similar a las mejores opciones.

Lo que se ha podido ver en la realización del trabajo, es la evolución del sector de generación de energía hacia sistemas de generación más responsables con el medio ambiente buscando alternativas a los sistemas de calderas clásico (que se intenta también que sean con mejores rendimientos, sin embargo algunos sistemas como la aerotermia aún falta un paso para que económicamente sean competitivos.

Por último hacer una valoración general de la realización del TFG, que ha supuesto un reto importante, ya que significaba la realización por primera vez de un estudio a nivel



superior y combinando muchos conocimientos adquiridos en la realización del grado de GITI.



Capítulo 6 – Referencias bibliográficas

Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM). (s.f.). Obtenido de <http://www.avebiom.org/es/>

Baxi Calefacción. (s.f.). Obtenido de <https://www.baxi.es>

Bombas Hasa. (s.f.). Obtenido de <https://www.bombashasa.com/es/>

CHEQ 4. Herramienta del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (s.f.). Obtenido de <http://cheq4.idae.es/>

Código Técnico de la Edificación (CTE). (s.f.). Obtenido de <https://www.codigotecnico.org>

Documento Básico Ahorro de Energía (HE). (s.f.). Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

Domusa Teknik. (s.f.). Obtenido de <https://www.domusateknik.com/>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). Obtenido de <https://www.idae.es>

Lean Manufacturing 10. (s.f.). Obtenido de <https://leanmanufacturing10.com>

Ministerio Para la Transición Ecológica. (s.f.). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/>

Mitsubishi Electric. (s.f.). Obtenido de <https://es.mitsubishielectric.com/es/>

Mundo Calor Blog. (s.f.). Obtenido de <https://mundocalor.es/blog/>

Piqueras, V. Y. (s.f.). *PoliBlog*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

SENIGRUP. División Climatización y Renovables. (s.f.). Obtenido de <http://senigrup.blogspot.com>

Tarifasgasluz. (s.f.). Obtenido de <https://tarifasgasluz.com>

Toshiba Calefacción & Aire acondicionado. (s.f.). Obtenido de <https://www.toshiba-aire.es>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

1.1 Necesidad del presupuesto

Para la realización correcta del TFG, es necesario hacer una valoración económica del trabajo que ha supuesto el estudio. Por ello y solamente a efectos académicos, se va a realizar una estimación del presupuesto de la elaboración del proyecto.

1.2 Elaboración del presupuesto

Para calcular el 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 (€)
Mano de Obra		
Horas	Ayudante	15,64
Maquinaria		
Horas	Ordenador	0,12
Material		
Unidades	Fotocopias en papel	0,025
Unidades	Encuadernación	5
Unidades	Libreta	2

El precio del material se ha obtenido de la papelería del campus de la Universidad Politécnica de Valencia y el precio de la encuadernación y las fotocopias de la reprografía también de la Universidad politécnica de Valencia.

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

$$\text{Precio} = \frac{C}{Dl \cdot h \cdot V} = \frac{1.500}{251 \cdot 6 \cdot 8} = 0,12$$

Donde C es el coste total del equipo.

DI son los días laborables al año.

H son las horas de uso diario.

V es la vida útil del equipo.

Se ha estimado un total de 300 horas realizadas para la elaboración del TFG y se han utilizado aproximadamente 200 hojas para la impresión del trabajo, contando con la versión de prueba que se hizo y la original.

Para el cálculo de coste total se estima un 10% de gastos generales y un porcentaje de beneficio del 6%. Por último se tiene en cuenta el IVA que es actualmente del 21%.

Mediciones				
UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO (€)	CANTIDAD	IMPORTE(€)
Horas	Ayudante	15,64	300	4.692,00
Horas	Ordenador	0,12	300	36,00
Unidades	Papel y tinta	0,025	200	5,00
Unidades	Libreta	2	1	2,00
Presupuesto de Ejecución de material				4.735,00
Gastos generales (10%)				473,50
Beneficio (6%)				284,10
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)				5.492,60
IVA (21%)				1.153,45
Presupuesto del estudio (PEC + IVA)				6.646,05

Tabla 53 Presupuesto del estudio

EL presupuesto total del estudio asciende a 6.646,05 €.

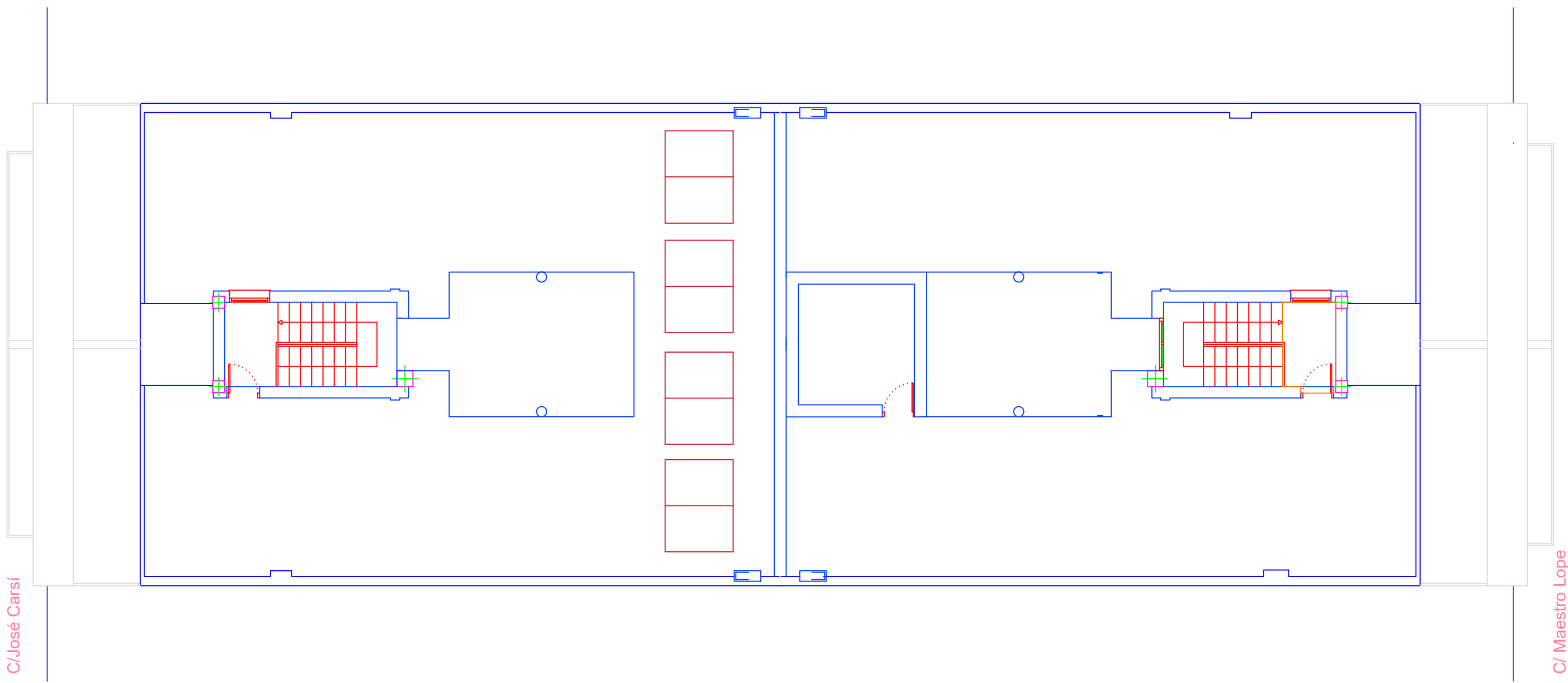


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Anexo 1 – Cuestionario para establecer las prioridades

C1 - Criterio de inversión

C2 -Dificultad de instalación.

¿Qué criterio es más importante?	
X	
C1	C2

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
						X		
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C1 - Criterio de inversión

C3 -Mantenimiento de los sistemas de generación de ACS

¿Qué criterio es más importante?	
X	
C1	C3

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
						X		
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C1 - Criterio de inversión

C4 -Coste de explotación

¿Qué criterio es más importante?	
X	
C1	C4

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
X								
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C1 - Criterio de inversión

C5 -Emisiones de CO₂

¿Qué criterio es más importante?	
X	
C1	C5

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
					X			
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C2 -Dificultad de instalación

C3 -Mantenimiento de los sistemas de generación de ACS.

¿Qué criterio es más importante?	
	X
C2	C3

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
		X						
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C2 -Dificultad de instalación

C4 -Coste de explotación

¿Qué criterio es más importante?	
	X
C2	C4

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
						X		
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C2 -Dificultad de instalación

C5 -Emisiones de CO₂

¿Qué criterio es más importante?	
	X
C2	C5

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
			X					
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C3 -Mantenimiento de los sistemas de generación de ACS

C4-Coste de explotación

¿Qué criterio es más importante?	
	X
C3	C4

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
						X		
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)

C3 -Mantenimiento de los sistemas de generación de ACS

C5 -Emisiones de CO₂

¿Qué criterio es más importante?	
	X
C3	C5

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
	X							
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)



C4 -Coste de explotación

C5 -Emisiones de CO₂

¿Qué criterio es más importante?	
X	
C4	C5

¿Qué nivel de importancia tiene sobre el otro?								
						X		
Igual (1)	Entre I- M (2)	Moderado (3)	Entre M - F (4)	Fuerte (5)	Entre F - MF (6)	Muy Fuerte (7)	Entre MF - E (8)	Extremo (9)



Anexo 2 – Planos no propios del estudio

Como se han utilizado planos para la valoración de la demanda de ACS que no han sido creados por el autor del trabajo se incluyen como anexo. Los planos han sido elaborados por el arquitecto D. Rafael BARGUES GARRIDO en el proyecto de construcción del edificio y suministrados al alumno por el tutor del TFG Jose Luis Fuentes BARGUES.

