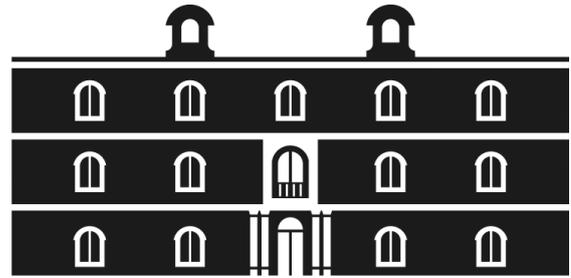


Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales

etsii UPCT

**Estudio de viabilidad, diseño y dimensionado básico de
las instalaciones generales de un edificio de consumo
de energía casi nulo para la UPCT**

Titulación: Ingeniería Industrial
Intensificación: Construcción e
Instalaciones Industriales
Alumno/a: Pilar Meseguer Sánchez
Director/a/s: Fernando Illán Gómez
José Pérez García

Cartagena, 11 de Febrero de 2015



Índice

1.	Introducción y objetivos	7
2.	Metodología	8
3.	Marco normativo.....	9
4.	Situación y emplazamiento	10
5.	Descripción del edificio	10
5.1	Sótano	10
5.2	Planta baja.....	11
5.3	Primera planta.....	11
5.4	Segunda planta.....	12
5.5	Tercera planta	12
6.	Comprobación de la HE-1. LIDER.....	13
6.1	Información general del edificio.....	13
6.2	Cerramientos.....	14
6.2.1	Cerramientos opacos.....	14
6.2.2	Cerramientos semitransparentes	19
6.3	Geometría del edificio	20
6.3.1	Simplificaciones realizadas en el edificio	20
6.3.2	Descripción de los espacios definidos en LIDER.....	20
6.4	Intensidad de ocupación	22
6.5	Iluminación.....	27
6.6	Necesidades de ventilación	28
6.6.1	Metodología	28
6.6.2	Método indirecto de caudal de aire exterior por persona.....	28
6.7	Reformas implementadas en el edificio para reducir la demanda energética – Calener VyP	29
6.7.1	Influencia de la superficie acristalada en la demanda	31
6.7.2	Influencia de la ventilación en la demanda	31
6.7.3	Influencia de la intensidad de ocupación	31
6.7.4	Fachadas ventiladas.....	31
6.7.5	Influencia de la superficie acristalada.....	31



6.8	Reformas implementadas en el edificio para reducir la demanda energética – Calener GT	31
6.8.1	Comentarios	33
6.9	Cumplimiento de la HE1	33
6.10	Cumplimiento de la HE0	34
7.	Calener GT. Puntos comunes en todas las instalaciones.	34
7.1	Horarios.....	34
7.2	Infiltraciones.....	34
8.	Climatización	35
8.1	Bomba de calor convencional con un intercambiador aerotérmico para la condensación	35
8.1.1	Selección de unidades exteriores	36
8.1.2	Selección de unidades interiores	37
8.1.3	Resultados obtenidos	38
8.2	Bomba de calor convencional con un intercambiador geotérmico para la condensación	39
8.2.1	Selección de unidades exteriores e interiores	39
8.2.2	Diseño del intercambiador geotérmico para las plantas P01 y P02	40
8.2.3	Diseño del intercambiador geotérmico para las plantas P03, P04 y P05	45
8.2.4	Cálculo de la altura de la bomba	45
8.2.5	Recálculo de la temperatura de entrada al circuito de refrigeración	46
8.2.6	Resultados obtenidos	47
8.3	Planta enfriadora de agua por ciclo de absorción accionada por agua caliente generada en una caldera de biomasa y con agua de refrigeración enfriada en un intercambiador geotérmico.	48
8.3.1	Máquina de absorción seleccionada.....	49
8.3.2	Caldera de biomasa	50
8.3.3	Unidades interiores	51
8.3.4	Información de la planta enfriadora en Calener GT.....	52
8.3.5	Diseño del intercambiador geotérmico	54
8.3.6	Cálculo de la altura de la bomba del circuito de condensación	54
8.3.7	Cálculo de la altura requerida en cada una de las bombas de los circuitos secundarios	54
8.3.8	Resultados obtenidos	56
9.	Ventilación	57



9.1	Ventilación en Calener GT	57
9.2	Cálculo de las baterías de aire frío y aire caliente	58
9.3	Técnicas de recuperación de calor	60
9.4	Instalaciones en Calener GT	61
9.4.1	Bomba de calor con condensación por intercambiador aerotérmico.....	61
9.4.2	Bomba de calor con intercambiador geotérmico para la condensación.....	62
9.4.3	Planta enfriadora por ciclo de absorción con caldera de biomasa.	64
10.	Agua caliente sanitaria	67
10.1	Características de la instalación de ACS.....	67
10.1.1	Caudales por aparatos	67
10.1.2	Caudal instantáneo.....	68
10.1.3	Consumo de ACS.....	69
10.2	Sistemas de producción de ACS con acumulación de agua	69
10.2.1	Producción de ACS a 60°C con caldera de gas natural.....	71
10.2.2	Producción de ACS a 60°C con caldera de biomasa.....	73
10.3	Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.....	74
10.3.1	Protección contra sobrecalentamientos.....	74
10.3.2	Pérdidas por sombras	74
10.3.3	Orientación e inclinación óptima de los paneles solares	75
10.3.4	Instalación de energía solar térmica para ACS como complemento a la caldera de gas	75
11.	Contribución fotovoltaica de energía eléctrica.....	78
11.1	Cálculo de la potencia mínima a instalar	78
11.2	Separación mínima entre paneles	80
11.3	Configuración de la instalación fotovoltaica.....	80
11.4	Estimación de la energía eléctrica producida	81
12.	Resultados obtenidos	82
12.1	Bomba de calor con condensación por aerotermia y caldera de gas natural.	82
	Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio.....	82
	Consumo de electricidad	82
	Consumo de gas natural	82
12.2	Bomba de calor con condensación por geotermia y caldera de biomasa.....	83
12.2.1	Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio	83
12.2.2	Consumo de electricidad	83



12.2.3	Consumo de biomasa	83
12.3	Planta de absorción con caldera de biomasa	84
12.3.1	Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio	84
12.3.2	Consumo de electricidad	84
12.3.3	Consumo de biomasa	84
13.	Análisis de los resultados - Modelos de climatización adicionales	85
13.1	Opción adicional 1 - Absorción con aerotermia y gas natural	85
13.1.1	Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio	87
13.1.2	Consumo de gas natural	87
13.1.3	Consumo de biomasa	87
13.1.4	Consumo de electricidad	87
13.2	Opción adicional 2. Absorción con aerotermia y biomasa.....	88
13.2.1	Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio	88
13.2.2	Consumo de electricidad	89
13.2.3	Consumo de biomasa	89
13.3	Resumen de los resultados obtenidos.....	89
14.	Presupuesto de las instalaciones.....	90
14.1.1	Opción convencional - Bomba de calor de condensación por aerotermia y caldera de gas natural para ACS	90
14.1.2	Opción renovable – Absorción por aerotermia y caldera de biomasa	90
14.2	Suministro eléctrico.....	90
14.2.1	Opción convencional - Bomba de calor con condensación por aerotermia.....	91
14.2.2	Opción renovable – Absorción por aerotermia y caldera de biomasa	91
14.3	Suministro de combustibles	91
14.3.1	Opción convencional – Suministro de gas natural para ACS.....	91
14.3.2	Opción renovable – Suministro de biomasa para climatización y ACS.....	91
15.	Conclusiones	91
15.1	Comparativa entre opción convencional y opción renovable.....	92
15.2	Opinión personal	93
15.3	Conclusión final	94
4.	Bibliografía	94
Anexo I.	Cálculo de la resistencia térmica de la cámara de aire en el falso techo	95
I.I	Cámara de Aire de 45 cm con Flujo de Calor Ascendente	96
I.II	Cámara de Aire de 45 cm con Flujo de Calor Descendente	96



Anexo II. Horarios definidos en Calener GT	97
II.I Horarios diarios	97
II.I.I Horario de ocupación los días laborales	97
II.I.II Horario de ocupación los sábados	97
II.I.III Horario de ocupación los domingos y festivos	98
II.I.IV Horario de iluminación los días laborales.....	98
II.I.V Horario de iluminación los sábados.....	99
II.I.VI Horario de iluminación los domingos y festivos	99
II.I.VII Horario de infiltraciones los días laborales.....	100
II.I.VIII Horario de infiltraciones los sábados	100
II.I.IX Horario de infiltraciones los domingos y festivos	101
II.I.X Horario de demanda de ACS los días laborales.....	101
II.I.XI Horario de demanda de ACS los sábados	102
II.I.XII Horario de demanda de ACS los domingos.....	102
II.II Horarios semanales	103
II.II.I Horario semanal de ocupación	103
II.II.II Horario semanal de iluminación	103
II.II.III Horario semanal de infiltraciones	104
II.II.IV Horario semanal de ACS	104
II.III Horarios anuales.....	105
II.III.I Horario de ocupación	105
II.III.II Horario de iluminación	105
II.III.III Horario de infiltraciones	106
II.III.IV Horario de demanda de ACS	106
II.III.V Horario de disponibilidad de refrigeración.....	107
II.III.VI Horario de disponibilidad de calefacción	107
Anexo III. Programa de necesidades	108
Anexo IV. Pérdidas de energía solar debido a sombras.....	109
IV.I Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación del generador distinta de la óptima	109
IV.II Cálculo de las pérdidas de radiación solar por sombras.....	110
IV.II.I Distancia mínima a obstáculos	110
IV.II.II Obtención del perfil de obstáculos.....	111
Anexo V Detalles del presupuesto	115



V.I Suministro eléctrico	115
V.I.I Bomba de calor con condensación por aerotermia.....	116
V.I.II Máquina de absorción con condensación por geotermia.....	119
V.II Suministro de combustibles	121
V.II.I Suministro de gas natural	121
V.II.II Suministro de biomasa	121



1. Introducción y objetivos

Este proyecto surge a raíz de la propuesta por parte del Vicerrectorado de Infraestructuras, Equipamiento y Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Cartagena de demoler el edificio denominado Nave de Talleres y Biblioteca para construir el edificio que constituirá la nueva sede de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación (ETSAE). En la construcción de este nuevo edificio primarán los criterios de flexibilidad y adaptabilidad a las posibles necesidades de la escuela en el futuro, dándole además el enfoque de edificio modelo de la Universidad en cuanto a sostenibilidad y eficiencia energética.

La relación tan estrecha que existe entre el consumo final de energía primaria y el sector de la edificación ha hecho que en los últimos años se hayan adoptado medidas para favorecer la eficiencia energética en los edificios, reduciendo de este modo las emisiones de CO₂ y fomentando el ahorro de energía primaria.

La eficiencia energética aplicada a edificios de nueva construcción consiste en la reducción de consumo de energía de un edificio, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el servicio, confort ni la calidad de vida, asegurando el abastecimiento, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad.

De este modo, los dos objetivos que se pretende alcanzar en este proyecto son, por un lado, la mejora de la eficiencia energética del edificio, y por otro, la disminución de las emisiones de CO₂. Para lograrlos, será necesario actuar en tres frentes: disminución de la demanda energética del edificio propuesto mediante modificaciones en la envolvente, diseño de instalaciones de alta eficiencia energética, incluyendo técnicas de recuperación de energía, y reducción de emisiones de CO₂.

Por otro lado, mediante el desarrollo y la explotación de las energías procedentes de fuentes renovables no fósiles, como son la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, etc. Se consigue reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, así como los beneficios de utilizar fuentes de energías limpias y baratas que proceden de la naturaleza.

Por otro lado, el artículo 9 de la Directiva 2010/31/UE anuncia a los Estados Miembro que a partir del 31 de diciembre de 2020, los edificios que se construyan deben ser de consumo de energía casi nulo, en los términos que reglamentariamente se fijen en su momento a través del Código Técnico de la Edificación, plazo que en el caso de los edificios públicos se adelanta dos años.

La Directiva 2010/31/UE define los edificios de consumo de energía casi nulo como edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto, donde la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno. Al no existir una definición plasmable y medible de las características de un consumo energético casi nulo, se ha considerado que un edificio que cumpla con esa definición será un edificio con una calificación energética A.



El principal objetivo de este proyecto fin de carrera es demostrar que es económicamente viable la construcción de un edificio de consumo energético casi nulo en el campus de Alfonso XIII de la Universidad Politécnica de Cartagena.

2. Metodología

En cuanto a la certificación energética de un edificio de nueva construcción, se mantiene vigente el procedimiento descrito en el Real Decreto 47/2007 del 19 de enero: “Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción”.

Este proceso de certificación tiene como resultado una etiqueta de eficiencia energética, que asigna a cada edificio una letra que va desde la G para los edificios menos eficientes, hasta la A para los edificios más eficientes energéticamente.

Para la realización de este proyecto se comenzó por introducir la geometría de la propuesta del edificio en el software LIDER, considerando diferentes simplificaciones que aligerarán el proceso de cálculo sin comprometer la precisión de los resultados. A partir de ahí, combinando los software Calener GT y Calener VyP se fueron realizando diferentes modificaciones en la envolvente del edificio con el fin de reducir la demanda de energía primaria en calefacción y en refrigeración.

Además, con el software LIDER es necesario verificar el cumplimiento del Documento Básico HE1 de Ahorro Energético del Código Técnico de la Edificación.

Una vez realizadas las modificaciones necesarias para la optimización de la envolvente del edificio, se realizó la exportación de LIDER a Calener GT de la geometría definitiva del edificio. En este software fue necesario definir nuevos horarios de ocupación, de iluminación de infiltraciones, de funcionamiento de los equipos y de demanda de ACS, con el fin de hacer más veraces los resultados obtenidos.

A partir de ese punto se comenzó con el diseño de las diferentes instalaciones de las que consta el edificio:

- Iluminación.

La iluminación del edificio se realizará con el software DIALux, y constará de luminarias tipo LED.

- Climatización.

Se plantearán un total de tres alternativas para dar servicio de climatización al edificio, las cuales serán una bomba de calor convencional con condensación en un intercambiador aerotérmico, una bomba de calor convencional con condensación en un intercambiador geotérmico y una máquina de absorción alimentada por agua caliente procedente de una caldera de biomasa y con condensación en un intercambiador geotérmico.



Con los resultados de los casos anteriores, se plantearán otros dos métodos de climatización basados en absorción de llama directa con condensación por aire, siendo la diferencia entre ellos el tipo de combustible utilizado: gas natural y biomasa.

- Ventilación.

Se definirá una zona de aire primario que englobará la ventilación de todo el edificio. La climatizadora de aire que se defina en este apartado será del mismo tipo que el sistema de climatización definido para el edificio. Se tendrá en cuenta la recuperación de calor mínima exigida por el RITE.

- Agua caliente sanitaria.

Se plantearán dos alternativas diferentes para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria: una caldera de gas natural y una caldera de biomasa. En esta última, al considerarse la biomasa como un combustible renovable, no necesita apoyo solar térmico. Sin embargo, la caldera de gas requiere de una instalación de apoyo con colectores solares térmicos. Se realizará un estudio de sombras para comprobar que las pérdidas por sombras de elementos circundantes no son muy elevadas.

- Producción de electricidad mediante paneles fotovoltaicos:

Se dimensionará una instalación de paneles fotovoltaicos y se estimará la producción anual media.

Por último, se realizará una comparativa de una alternativa convencional con una alternativa renovable, incluyendo el precio de la adquisición de equipos, el suministro energético anual y algunos indicadores de eficiencia energética.

3. Marco normativo

A continuación se presenta la normativa que se ha seguido durante la elaboración de este Proyecto Final de Carrera:

- Documento Básico HE de Ahorro de Energía, Código Técnico de la Edificación.
- Documento Básico HS de Salubridad, Código Técnico de la Edificación.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 861/2003, de 4 de julio.
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril.
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Norma UNE 149.201/07
- Norma UNE-EN ISO 6946



4. Situación y emplazamiento

El edificio objeto de este proyecto será sede de la Escuela Técnica de Arquitectura y Edificación, ubicado en el Campus Universitario Alfonso XIII de la Universidad Politécnica de Cartagena, con la siguiente dirección: Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia).



Imagen 1: Plano de situación del edificio

5. Descripción del edificio

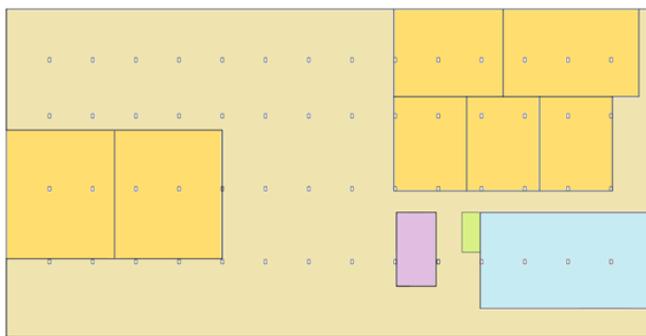
El edificio acomoda el programa de necesidades ¹ previsto a las condiciones del emplazamiento. Se trata de un edificio donde predomina la longitud sobre la anchura, con entradas desde Alfonso XIII y Carlos III a ambos lados del edificio. Además, para no romper la sintonía del campus, donde se encuentran edificios de poca altura, el edificio tendrá un total de cuatro plantas más un sótano.

A continuación, se expone una definición de los distintos espacios que componen cada planta del edificio, así como el uso al que están destinados.

5.1 Sótano

Los laboratorios de la escuela se encuentran ubicados en el sótano del edificio. En total hay seis laboratorios (laboratorio de materiales de construcción, laboratorio de construcción, laboratorio de instalaciones, taller de maquetas, I+D+i entre otros). El sótano también cuenta con una zona de almacenaje y de archivo. Inicialmente, este sótano contaba con un espacio destinado a garaje, sin embargo, por exigencias del programa de necesidades, fue necesario eliminarlo y destinar el sótano completo a laboratorios. A continuación se muestra un esquema de distribución del sótano, así como un resumen de áreas de cada espacio.

¹ El programa de necesidades se adjunta en el anexo III



PLANTA SÓTANO	
USOS/PROGRAMA	SUPERFICIE (m2)
ASCENSORES	12
ESPACIO DE CIRCULACIÓN	1657
ALMACÉN-ARCHIVO	227
LABORATORIOS	934
ASEOS	35
TOTAL	2865

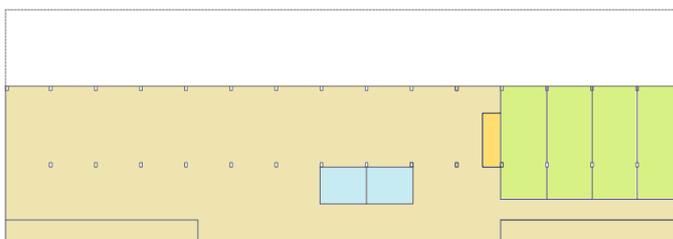
Imagen 2: Plano de distribución del sótano

Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
Espacio de circulación	1656,68	4
Zona de almacén - archivo	227,36	4
Zona de laboratorios 1 (2 laboratorios)	280,66	4
Zona de laboratorios 2 (2 laboratorios)	375	4
Zona de laboratorios 3 (3 laboratorios)	278,3	4
Ascensores	12	4
Aseos	35	4

Tabla 1: Descripción del sótano

5.2 Planta baja

En la planta baja se encuentra un hall principal con espacio para exposiciones y cuatro zonas de departamentos. También se encuentran las rampas de acceso al garaje.



PLANTA BAJA	
USOS/PROGRAMA	SUPERFICIE (m2)
ESPACIO DE CIRCULACIÓN	1273
ASCENSORES	12
DEPARTAMENTOS	256
ASEOS	42
TOTAL	1312

Imagen 3: Plano de distribución de la planta baja

Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
Zona de departamentos (4 departamentos)	255,78	4
Zona de tránsito	1272,86	4
Ascensores	12	4
Aseos	48,13	4

Tabla 2: Descripción de la planta baja

5.3 Primera planta

La primera planta está destinada a aulas, encontrándose en ella tres aulas gráficas y tres de proyectos. Además, esta planta cuenta con seis despachos y una sala de conferencias.

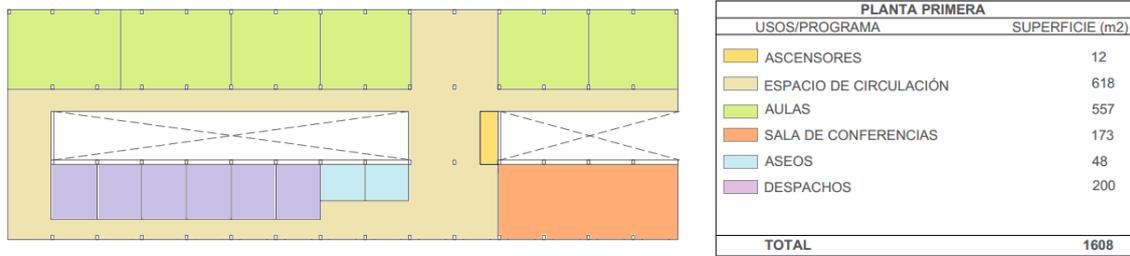


Imagen 4: Plano de distribución de la primera planta

Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
Zona de tránsito	617,58	4
Zona de despachos (6 despachos)	200	4
Zona de aulas 1 (3 aulas gráficas y una de proyectos)	383,78	4
Zona de aulas 2 (2 aulas de proyectos)	172,55	4
Sala de conferencias	172,55	4
Ascensores	12	4
Aseos	48,13	4

Tabla 3: Descripción de la primera planta

5.4 Segunda planta

En la segunda planta, además de la zona de despachos, se encuentran tres aulas de teoría, una de informática, una de proyectos, y una destinada a trabajos fin de grado.

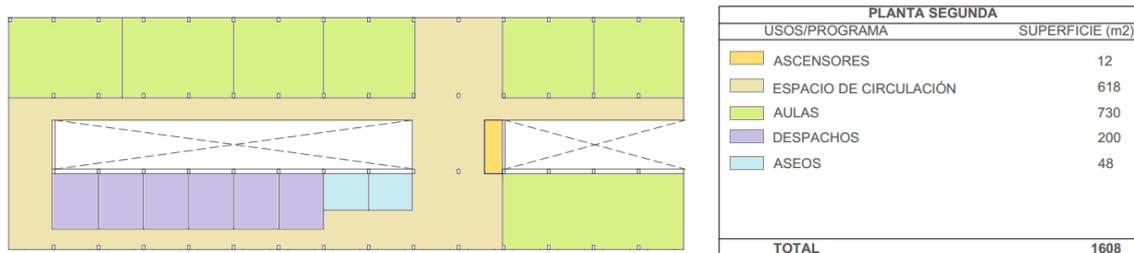


Imagen 5: Plano de distribución de la segunda planta

Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
Zona de tránsito	617,58	4
Zona de despachos (6 despachos)	200	4
Zona de aulas 1 (aula de proyectos, aula de PFG y dos aulas de teoría)	383,78	4
Zona de aulas 2 (aula de informática)	172,55	4
Zona de aulas 3 (2 aulas de teoría)	172,55	4
Ascensores	12	4
Aseos	48,13	4

Tabla 4: Descripción de la segunda planta

5.5 Tercera planta

La tercera y última planta se añadió a la propuesta inicial del edificio por motivos de cumplimiento del programa de necesidades. Es de distribución idéntica a la planta anterior.

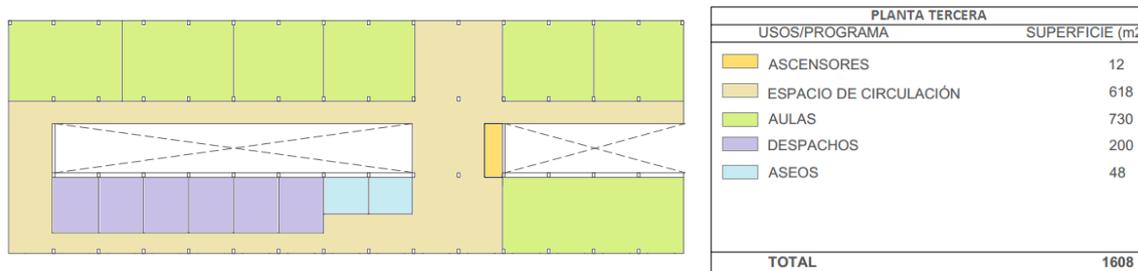


Imagen 6: Plano de distribución de la tercera planta

Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
Zona de tránsito	617,58	4
Zona de despachos (6 despachos)	200	4
Zona de aulas 1 (aula de proyectos, aula de PFG y dos aulas de teoría)	383,78	4
Zona de aulas 2 (aula de informática)	172,55	4
Zona de aulas 3 (2 aulas de teoría)	172,55	4
Ascensores	12	4
Aseos	48,13	4

Tabla 5: Descripción de la tercera planta

6. Comprobación de la HE-1. LIDER

Desde mayo de 2014 está disponible en la página web del Código Técnico de la Edificación la herramienta unificada LIDER-CALENER. Esta herramienta incluye la unificación en una sola plataforma de los programas generales oficiales empleados hasta la fecha para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético (LIDER-CALENER), así como la adaptación de estas aplicaciones a los cambios introducidos por el DB-HE del año 2013.

No obstante, esta herramienta unificada no es válida para realizar la verificación del cumplimiento de la HE0 en edificios de uso no residencial privado, y además no permite la exportación de la geometría a Calener GT ni la opción de realizar la calificación energética del edificio.

Por los motivos anteriores se decidió usar los software LIDER y Calener VyP, y emplear los datos arrojados por esos programas para comprobar el cumplimiento de la HE0 y la HE1, aunque no de forma directa.

Con las consideraciones anteriores y a partir de los planos iniciales del edificio, se comienza con el trabajo con el software LIDER.

6.1 Información general del edificio

Para empezar, se introducimos los datos generales del edificio en la pestaña *Descripción*, donde es necesario proporcionar información de los siguientes puntos:

- Zona climática

Para conocer la zona climática es necesario consultar la tabla B.1 del Apéndice B del Documento Básico HE1 de Ahorro de Energía. Como Cartagena está a una altura inferior a 100 metros, se encuentra en una zona B3.



Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			

Imagen 7: Zonas climáticas

- Orientación:

La orientación del edificio es de 3,83° respecto al norte.

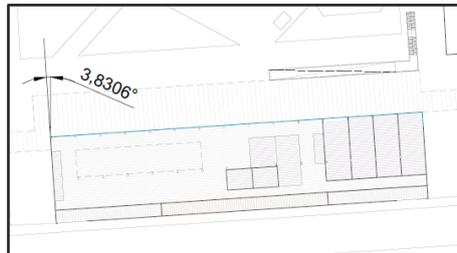


Imagen 8: Orientación del edificio respecto al norte

- Tipo de edificio

Dado que es un edificio destinado a la educación, se trata de un edificio de uso terciario.

6.2 Cerramientos

Para obtener los cerramientos óptimos se realizaron varios ensayos con los software LIDER y Calener VyP, probando diferentes alternativas. A continuación se presentan los materiales empleados en los cerramientos y sus propiedades, así como la configuración de cada uno de los cerramientos utilizados en el edificio.

6.2.1 Cerramientos opacos

6.2.1.1 Materiales

En la siguiente tabla se muestran los materiales utilizados en los cerramientos opacos y sus propiedades más representativas: conductividad térmica (K), densidad (ρ), calor específico (c_p), resistencia térmica (R) y el coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (Z):

Nombre del material	K (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)	R (m ² K/W)	Z (m ² sPa/kg)
Termoarcilla	0,290	1800	1000	-	10
Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor ascendente	-	-	-	0,14	-
Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor descendente	-	-	-	0,19	-
Arena y grava [1700 < d < 2200]	2,000	1950	1045	-	50
Betún fieltro o lámina	0,230	1100	1000	-	50000
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300	1900	1000	-	10
EPS Poliéstireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,037	30	1000	-	20



Nombre del material	K (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)	R (m ² K/W)	Z (m ² sPa/kg)
FU Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	0,893	1220	1000	-	10
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,570	1150	1000	-	6
Plaqueta o baldosa cerámica	1,000	2000	800	-	30
FR Entrevigado cerámico – Canto 250 mm	1,640	1660	1000	-	10
Hormigón armado d > 2500	2,500	2600	1000	-	80
Sodocálcico [inc. Vidrio flotado]	1,000	2500	750	-	1e+30
Cámara de aire ligeramente ventilada horizontal 2 cm	-	-	-	0,9	-
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0,034 W/(mK)]	0,034	37,5	1000	-	100
Paneles de fibras con conglomerante hidráulico 250 < d < 350	0,100	300	1700	-	5
Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 5 cm	-	-	-	0,09	-
Panel de vidrio celular [CG]	0,050	125	1000	-	1e+30
Tabique de LH sencillo [40mm< Espesor < 60mm]	0,445	1000	1000	-	10

Tabla 6: Propiedades de los materiales opacos empleados en los cerramientos

6.2.1.2 Composición de cerramientos

Consideraciones generales

- Para la estimación del espesor de aislante óptimo se ha ido aumentando progresivamente el espesor de cada cerramiento y se ha simulado el edificio hasta que han dejado de obtenerse mejoras significativas en las demandas de calefacción y refrigeración.
- Dado que en la base de datos de LIDER no se encuentran capas de aire de espesores altos para simular un falso techo, se ha procedido a calcular manualmente la resistencia térmica de cámaras de aire². horizontales con flujo de calor ascendente y descendente de 45 cm
- El proyecto del edificio de partida incluía un garaje en el sótano, espacio definido como no habitable. Por este motivo se definieron los cerramientos solera y solera habitable, para el suelo en contacto con el terreno de espacios no habitables y de espacios habitables; muro terreno y muro terreno habitable, para muros en contacto con el terreno en espacios no habitables y habitables; y el forjado sótano habitable, que incluye una capa de aislante para separar el espacio no habitable del garaje de los espacios habitables de la planta baja. Sin embargo, por necesidades del programa, se tuvo que desechar la idea del garaje, convirtiéndose todo el garaje en un espacio habitable, por lo que los cerramientos en contacto con el terreno de espacios no habitables no se usan en el edificio.

² Los cálculos realizados para obtener los valores de resistencia térmica de las cámaras de aire se adjuntan en el anexo I



Forjado Cubierta

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,25	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,100
		Betún fieltro o lámina	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,120
		FU Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	0,250
		Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor ascendente	0,000
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020

La cubierta del edificio es transitable para poder ubicar en ella las máquinas de climatización, así que la terminación de la cubierta está compuesta de una capa de grava. La capa de betún fieltro o lámina representa la tela asfáltica que impermeabiliza el edificio.

Forjado sótano habitable

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,42	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,070
		FR FR Entrevigado cerámico – Canto 250 mm	0,250
		Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor ascendente	0,000
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020

Este forjado separa espacios no habitables de una planta de espacios habitables de la planta inmediatamente superior. La cámara de aire de 45 cm representa el falso techo.

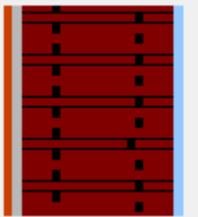
Muro exterior Norte

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,26	Sodocálcico [inc. Vidrio flotado]	0,060
		Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 2 cm	0,000
		Sodocálcico [inc. Vidrio flotado]	0,040
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020
		XPS Expandido con dióxido de carbono CO ₂ [0,034 W/(mK)]	0,090
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,015
		Termoarcilla	0,240
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020



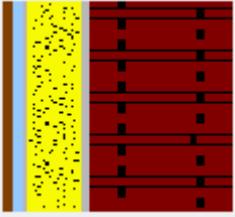
El edificio del proyecto original tenía la fachada Norte completamente acristalada. Al simular el edificio, se vio que este factor influía de manera muy negativa a la eficiencia del edificio, por lo que se redujo considerablemente la superficie acristalada hasta obtener resultados mejores. No obstante, para mantener la estética original del edificio, en el cerramiento se ha añadido una capa de cristal exterior al muro que continúa el aspecto acristalado de la fachada.

Forjado entre plantas

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	1,98	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		FR FR Entrevigado cerámico – Canto 250 mm	0,250
		Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor ascendente	0,000
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020

Este forjado separa dos espacios habitables, por ello no es necesario poner aislante en él.

Muros exteriores Sur, Este y Oeste

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,25	Paneles de fibras con conglomerante hidráulico 250 < d < 350	0,020
		Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 5 cm	0,000
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,010
		XPS Expandido con dióxido de carbono CO ₂ [0,034 W/(mK)]	0,090
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,015
		Termoarcilla	0,240
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020

En las fachadas orientadas a este y a sur se han simulado unas fachadas ventiladas por medio de unas cámaras de aire ligeramente ventiladas. Es necesario señalar que las fachadas ventiladas funcionan realmente como cámaras de aire muy ventiladas, donde la parte externa de la fachada absorbe radiación solar, generando de este modo la circulación de aire en su interior, proporcionando sombra al muro y transmitiendo además parte de la radiación absorbida al muro interior. Para definir correctamente estos elementos sería necesario hacer un estudio detallado con elementos finitos que describiera la circulación de aire a través de la fachada ventilada y la transmisión de calor producida, ya que ni LIDER ni Calener GT incluyen en su base de datos este tipo de elementos.

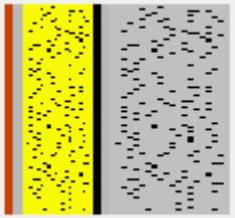


Tabique

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	2,99	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
		Tabique de LH sencillo [40mm< Espesor < 60mm]	0,050
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015

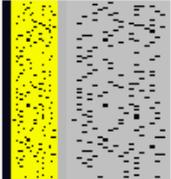
Se emplea en particiones verticales que separan dos espacios habitables.

Solera habitable

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,37	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		Panel de vidrio celular [CG]	0,120
		Betún fieltro o lámina	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		Hormigón armado d > 2500	0,200

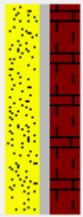
Este cerramiento se emplea en el suelo en contacto con el terreno de espacios habitables.

Muro terreno habitable

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,36	Betún fieltro o lámina	0,020
		EPS Poliéstireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,090
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		Hormigón armado d < 2500	0,200

Representa los muros del sótano que separan el terreno de espacios habitables.

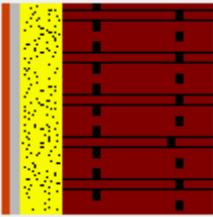
Tabique aislado

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,51	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
		EPS Poliéstireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,060
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		Tabique de LH sencillo [40mm< Espesor < 60mm]	0,050
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015

Se emplea en particiones verticales que separan un espacio habitable de uno no habitable.

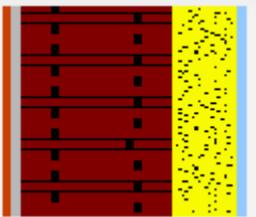


Forjado sótano no habitable

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,45	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/(mK)]	0,070
		FR FR Entrevigado cerámico – Canto 250 mm	0,250

Separa espacios del sótano no habitables de espacios habitables en la planta baja.

Forjado voladizo

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
	0,26	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	0,020
		FR FR Entrevigado cerámico – Canto 250 mm	0,250
		XPS Expandido con dióxido de carbono CO ₂ [0,034 W/(mK)]	0,110
		Cámara de aire horizontal de 45 cm con flujo de calor descendente	0,000
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,200

La planta baja es de dimensiones menores a las plantas superiores. Esto implica que una parte del forjado inferior de la primera planta se encuentre en voladizo. En el 1 se adjuntan los cálculos pertinentes al cálculo de las propiedades térmicas de la cámara de aire horizontal de 45 mm con flujo de calor descendente.

6.2.2 Cerramientos semitransparentes

6.2.2.1 Ventanas y puerta norte

El vidrio propuesto para este edificio es el de menor transmitancia térmica de la base de datos de LIDER (1,4W/m²K), ya que es el vidrio con el que mejores resultados de demanda energética se obtenían. Es un vidrio doble bajo emisivo, con un coeficiente de emisividad inferior a 0,03. Este vidrio se ha empleado en todas las ventanas del edificio, así como en la puerta de la fachada norte, que está fabricada completamente de cristal.

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
VER_DB3_4-15-6	0,26	Plaqueta o baldosa cerámica	0,015

Tabla 7: Propiedades de los vidrios empleados en los cerramientos

La permeabilidad al aire se ha definido de 27m³/hm² a 100 Pa. La permeabilidad es baja con fin de hacer el edificio lo más estanco posible.



En cuanto a los marcos empleados en los huecos, éstos son de PVC de tres cámaras, y cubren un 5% de la superficie total del hueco. Este material tiene una transmitancia térmica de $1,8W/m^2K$ y un coeficiente de absortividad de 0,7.

6.2.2.2 Puertas de acceso al garaje

Las puertas situadas en la fachada este de la planta baja están hechas de metal. En LIDER las puertas se definen como las ventanas, pero con un 99% de superficie cubierta por el marco, de forma que el marco ocupe prácticamente la totalidad de la superficie del hueco. El material definido es un marco metálico en posición vertical con rotura de puente térmico entre 4 y 12mm.

6.3 Geometría del edificio

6.3.1 Simplificaciones realizadas en el edificio

Una vez definidos los cerramientos que componen el edificio, se pasa a la introducción de la geometría de éste en el software LIDER. Para reducir el tiempo de cálculo, se han realizado una serie de simplificaciones a la hora de definir la geometría del edificio que no comprometen la validez de los resultados. Estas simplificaciones son principalmente uniones de espacios contiguos con una misma temperatura interior y un mismo perfil de uso (aulas, despachos...). Al no producirse transmisión de calor entre las estancias, los resultados obtenidos son similares con y sin la simplificación, por lo que se ha decidido aunar estas estancias en una única zona.

6.3.2 Descripción de los espacios definidos en LIDER

El edificio está compuesto por cinco plantas, y la distribución de los espacios se muestra en los próximos esquemas, donde se ha seguido la siguiente configuración de colores:

-  Espacio habitable acondicionado
-  Espacio habitable no acondicionado
-  Espacio no habitable

Sótano – P01

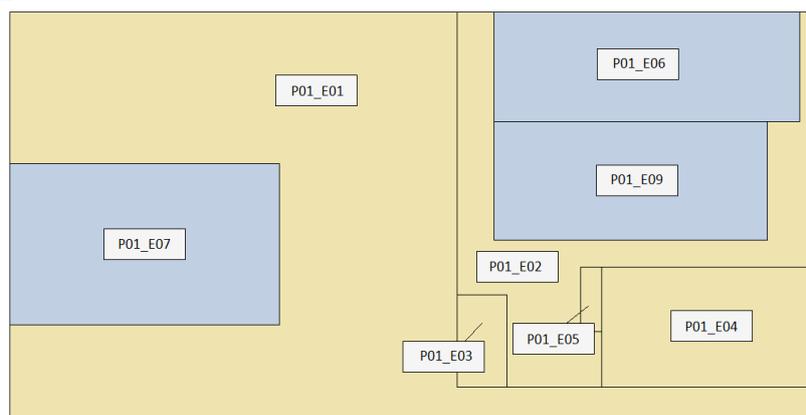


Imagen 9: Distribución de espacios en el sótano



Espacio	Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
P01_E01	Espacio de circulación	1273,39	4
P01_E02	Espacio de circulación	383,29	4
P01_E03	Aseos	35	4
P01_E04	Zona de almacenaje y archivo	227,36	4
P01_E05	Ascensores	12	4
P01_E06	Laboratorio x2	280,66	4
P01_E07	Laboratorio x2	375	4
P01_E09	Laboratorio x3	278,3	4

Tabla 8: Descripción de espacios en el sótano

Planta baja - P02

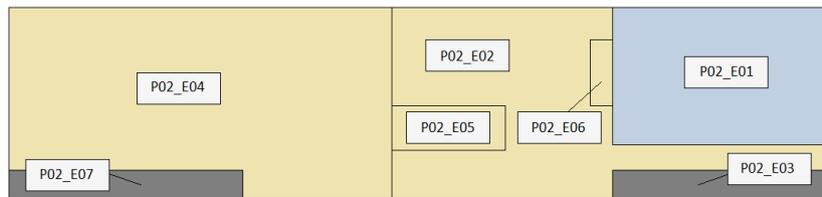


Imagen 10: Distribución de espacios en la planta baja

Espacio	Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
P02_E01	Departamentos x4	255,78	4
P02_E02	Espacio de circulación	735,9	4
P02_E03	Acceso al garaje	52,39	4
P02_E04	Espacio de circulación	536,96	4
P02_E05	Aseos	48,13	4
P02_E06	Ascensores	12	4
P02_E07	Acceso al garaje	55,38	4

Tabla 9: Descripción de espacios en la planta baja

Primera planta - P03

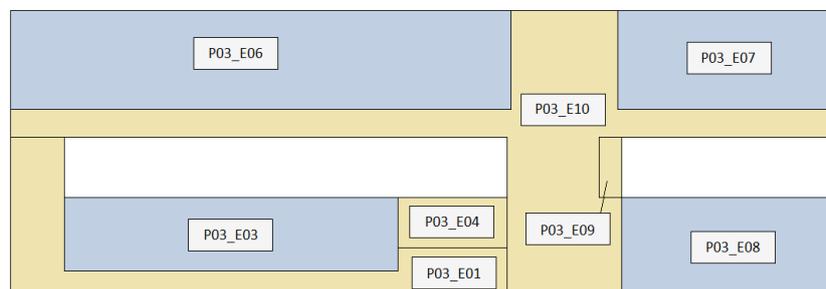


Imagen 11: Distribución de espacios en la primera planta

Espacio	Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
P03_E01	Espacio de circulación	144,62	4
P03_E03	Despachos x6	200	4
P03_E04	Aseos	48,13	4
P03_E06	Aula gráfica x3 + Aula proyectos	383,78	4
P03_E07	Aula proyectos x2	172,55	4
P03_E08	Sala de conferencias	172,55	4
P03_E09	Ascensores	12	4
P03_E10	Espacio de circulación	472,96	4

Tabla 10: Descripción de espacios en la primera planta



Segunda planta - P04

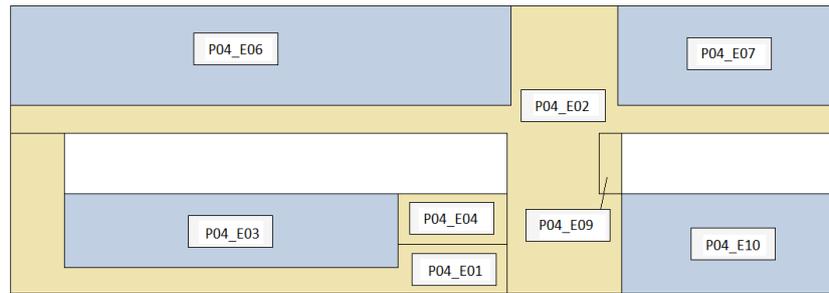


Imagen 12: Distribución de espacios en la segunda planta

Espacio	Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
P04_E01	Espacio de circulación	144,62	4
P04_E02	Espacio de circulación	472,96	4
P04_E03	Despachos x6	200	4
P04_E04	Aseos	48,13	4
P04_E06	Aula proyectos + Aula PFG + Aula teoría x2	383,78	4
P04_E07	Aula informática	172,55	4
P04_E09	Ascensores	12	4
P04_E10	Aula teoría x2	172,55	4

Tabla 11: Descripción de espacios en la segunda planta

Tercera planta - P05

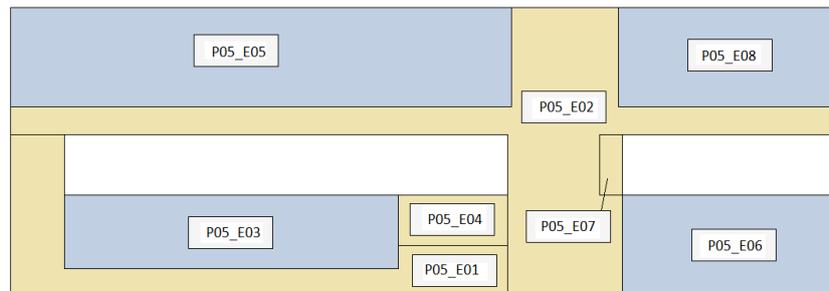


Imagen 13: Distribución de espacios en la tercera planta

Espacio	Descripción	Área (m ²)	Altura (m)
P05_E01	Espacio de circulación	144,62	4
P05_E02	Espacio de circulación	472,96	4
P05_E03	Despachos x6	200	4
P05_E04	Aseos	48,13	4
P05_E05	Aula proyectos + Aula PFG + Aula teoría x2	383,78	4
P05_E06	Aula informática	172,55	4
P05_E07	Ascensores	12	4
P05_E08	Aula teoría x2	172,55	4

Tabla 12: Descripción de espacios en la tercera planta

6.4 Intensidad de ocupación

La ocupación de cada uno de los espacios se ha considerado que era la indicada en el programa de necesidades del edificio³.

³ El programa de necesidades se adjunta en el anexo III



Para que los resultados sean más precisos, se han aplicado un total de dos factores de corrección a los espacios habitables y climatizados (en el resto de espacios los factores de corrección tomarán el valor 1):

- Se trata de un edificio de uso no residencial abierto 12 horas (de 9:00 a 21:00). No obstante, se ha considerado que las aulas, laboratorios, departamentos y despachos únicamente están ocupados durante las horas lectivas (de 9:00 a 13:00 y de 16:00 a 20:00). Por lo tanto, la ocupación de estos espacios se ha multiplicado por un factor de 2/3.
- Para calcular la intensidad de ocupación de los distintos espacios del edificio se aplicará un coeficiente de simultaneidad de 0,8 con el objetivo de corregir el hecho de que los espacios no se encuentran ocupados en todo momento al 100%.

Se ha considerado que cada individuo emite un calor de 70W al espacio en el que se encuentra.

En cuanto a la potencia de los equipos que se encuentran en cada uno de los espacios, se consideran los siguientes valores de referencia:

Potencia de un ordenador	100W
Potencia de un proyector	2400W

Tabla 13: Potencias de referencia de equipos

Como el edificio estará abierto un total de 12 horas diarias, para calcular la intensidad de ocupación será necesario consultar el apéndice C del DB HE1, en la tabla correspondiente a edificios de uso no residencial con perfil horario de 12 horas:

USO NO RESIDENCIAL: 12 h	BAJA			MEDIA			ALTA		
	1-6 15-16 21-24	7-14	17-20	1-6 15-16 21-24	7-14	17-20	1-6 15-16 21-24	7-14	17-21
Temp Consigna Alta (°C)									
Laboral y Sábado	-	25	25	-	25	25	-	25	25
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)									
Laboral y Sábado	-	20	20	-	20	20	-	20	20
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ocupación sensible (W/m²)									
Laboral	0	2,00	2,00	0	6,00	6,00	0	10,00	10,00
Sábado	0	2,00	0	0	6,00	0	0	10,00	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ocupación latente (W/m²)									
Laboral	0	1,26	1,26	0	3,79	3,79	0	6,31	6,31
Sábado	0	1,26	0	0	3,79	0	0	6,31	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación (%)									
Laboral	0	100	100	0	100	100	0	100	100
Sábado	0	100	0	0	100	0	0	100	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos (W/m²)									
Laboral	0	1,50	1,50	0	4,50	4,50	0	7,50	7,50
Sábado	0	1,50	0	0	4,50	0	0	7,50	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación (%)									
Laboral	0	100	100	0	100	100	0	100	100
Sábado	0	100	0	0	100	0	0	100	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Imagen 14: Apéndice C - Perfiles de uso - DB HE1



Sumando los valores de ocupación sensible, ocupación latente y equipos se obtienen unos valores de referencia para intensidad de ocupación baja, media y alta:

Intensidad de ocupación baja	4,76 W/m ²
Intensidad de ocupación media	14,29 W/m ²
Intensidad de ocupación alta	23,81 W/m ²

Tabla 14: Valores de referencia de intensidad de ocupación

En la siguiente tabla se muestran los valores de ocupación indicados en el programa de necesidades y corregidos por los coeficientes antes mencionados, y se ha multiplicado la ocupación corregida por el calor emitido por persona. A este valor se le suma el calor que emiten los equipos y se compara el valor obtenido de esta operación con los valores de referencia de la tabla anterior para obtener la intensidad de ocupación de cada espacio.



Espacio	Área (m ²)	Altura (m)	Ocupación	Factor de corrección por ocupación	Factor de corrección por tiempo de ocupación	Ocupación corregida	Calor por ocupación (W)	Calor por equipos (W)	Calor/área (W/m ²)	Intensidad de ocupación
P01_E01	1273,4	4	15	1	1	15,00	1050		0,82	BAJA
P01_E02	383,3	4	15	1	1	15,00	1050		2,74	BAJA
P01_E03	35	4	4	1	1	4,00	280	2400	76,57	ALTA
P01_E04	227,4	4	5	1	1	5,00	350	300	2,86	BAJA
P01_E05	12	4	1	1	1	1,00	70		5,83	BAJA
P01_E06	280,7	4	40	0,8	0,67	21,33	1493	10000	40,95	ALTA
P01_E07	375	4	40	0,8	0,67	21,33	1493	10000	30,65	ALTA
P01_E09	278,3	4	60	0,8	0,67	32,00	2240	15000	61,95	ALTA
P02_E01	255,8	4	20	0,8	0,67	10,67	747	2000	10,74	MEDIA
P02_E02	735,9	4	15	1	1	15,00	1050		1,43	BAJA
P02_E04	537	4	15	1	1	15,00	1050		1,96	BAJA
P02_E05	48,13	4	4	1	1	4,00	280	2400	55,68	ALTA
P02_E06	12	4	1	1	1	1,00	70		5,83	BAJA
P03_E01	144,6	4	15	1	1	15,00	1050		7,26	BAJA
P03_E03	200	4	18	0,8	0,67	9,60	672	600	6,36	BAJA
P03_E04	48,13	4	4	1	1	4,00	280	2400	55,68	ALTA
P03_E06	383,8	4	160	0,8	0,67	85,33	5973	2400	21,82	ALTA
P03_E07	172,6	4	80	0,8	0,67	42,67	2987	1200	24,26	ALTA
P03_E08	172,6	4	10	1	1	10,00	700	600	7,53	BAJA
P03_E09	12	4	1	1	1	1,00	70		5,83	BAJA
P03_E10	473	4	15	1	1	15,00	1050		2,22	BAJA
P04_E01	144,6	4	15	1	1	15,00	1050		7,26	BAJA
P04_E02	473	4	15	1	1	15,00	1050		2,22	BAJA



Espacio	Área (m ²)	Altura (m)	Ocupación	Factor de corrección por ocupación	Factor de corrección por tiempo de ocupación	Ocupación corregida	Calor por ocupación (W)	Calor por equipos (W)	Calor/área (W/m ²)	Intensidad de ocupación
P04_E03	200	4	18	0,8	0,67	9,60	672	600	6,36	BAJA
P04_E04	48,13	4	4	1	1	4,00	280	2400	56,51	ALTA
P04_E06	383,78	4	220	0,8	0,67	117,33	8213	2400	27,65	ALTA
P04_E07	172,55	4	50	0,8	0,67	26,67	1867	5500	42,69	ALTA
P04_E09	12	4	1	1	1	1,00	70		5,83	BAJA
P04_E10	172,55	4	120	0,8	0,67	64,00	4480	1200	32,92	ALTA
P05_E01	144,62	4	15	1	1	15,00	1050		7,26	BAJA
P05_E02	472,96	4	15	1	1	15,00	1050		2,22	BAJA
P05_E03	200	4	18	0,8	0,67	9,60	672	600	6,36	BAJA
P05_E04	48,13	4	4	1	1	4,00	280	2400	56,51	ALTA
P05_E05	383,78	4	220	0,8	0,67	117,33	8213	2400	27,65	ALTA
P05_E06	172,55	4	50	0,8	0,67	26,67	1867	5500	42,69	ALTA
P05_E07	12	4	1	1	1	1,00	70		5,83	BAJA
P05_E08	172,55	4	120	0,8	0,67	64,00	4480	1200	32,92	ALTA

Tabla 15: Intensidades de ocupación de los espacios



6.5 Iluminación

Los cálculos de la iluminación del edificio se han realizado con el software *DIALux evo*. A continuación se presenta una tabla con los valores obtenidos de potencia de iluminación instalada en cada zona, la iluminancia media, el valor de la eficiencia energética de la instalación (VEEI) y el valor límite de eficiencia energética de la instalación obtenido de la tabla 2.1 del DB HE 3 (VEEI lím):

Espacio	Superficie iluminada (m ²)	Potencia lámpara + equipo auxiliar (W)	Iluminancia media (lux)	Potencia/área	VEEI	VEEI lím
P01_E01	1273,39	3285	170	2,58	1,52	4
P01_E02	383,29	989	170	2,58	1,52	4
P01_E03	35	140	212	4,0	1,89	4
P01_E04	227,36	816	285	3,59	1,26	4
P01_E05	12	31	170	2,58	1,52	4
P01_E06	280,66	1360	395	4,85	1,23	3,5
P01_E07	375	2040	413	5,44	1,32	3,5
P01_E09	278,3	1224	392	4,4	1,12	3,5
P02_E01	255,78	1088	353	4,25	1,21	3
P02_E02	735,9	1899	170	2,58	1,52	4
P02_E04	536,96	1385	170	2,58	1,52	4
P02_E05	48,13	136	202	2,86	1,40	4
P02_E06	12	31	170	2,58	1,52	4
P03_E01	144,62	373	170	2,58	1,52	4
P03_E03	200	840	342	4,2	1,23	3
P03_E04	48,13	136	202	2,86	1,40	4
P03_E06	383,78	1632	345	4,25	1,23	3,5
P03_E07	172,55	816	346	4,73	1,37	3,5
P03_E08	172,55	680	303	3,94	1,30	8
P03_E09	12	31	170	2,58	1,52	4
P03_E10	472,96	1220	170	2,58	1,52	4
P04_E01	144,62	373	170	2,58	1,23	4
P04_E02	472,96	1220	170	2,58	1,23	4
P04_E03	200	840	342	4,20	1,23	3
P04_E04	48,13	136	202	2,86	1,40	4
P04_E06	383,78	1632	345	4,25	1,23	3,5
P04_E07	172,55	680	306	3,94	1,29	3,5
P04_E09	12	31	170	2,58	1,23	4
P04_E10	172,55	816	345	4,73	1,37	3,5
P05_E01	144,62	373	170	2,58	1,52	4
P05_E02	472,96	1220	170	2,58	1,52	4
P05_E03	200	840	342	4,2	1,23	3
P05_E04	48,13	136	202	2,86	1,40	4
P05_E05	383,78	1632	345	4,25	1,23	3,5
P05_E06	172,55	680	306	3,94	1,29	3,5
P05_E07	12	31	170	2,58	1,52	4
P05_E08	172,55	816	346	4,73	1,37	3,5

Tabla 16: Valores de iluminación en cada espacio



6.6 Necesidades de ventilación

6.6.1 Metodología

Según el RITE (IT 1.1.4.2.2.), la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.

El caudal mínimo de aire exterior de ventilación, necesario para alcanzar las categorías de calidad de aire interior, se ha calculado aplicando el *método A* indicado en el apartado IT 1.1.4.2.3 del RITE.

6.6.2 Método indirecto de caudal de aire exterior por persona

Se emplearán los valores de la tabla 1.4.2.1 cuando las personas tengan una actividad metabólica de alrededor 1,2 met, cuando sea baja la producción de sustancias contaminantes por fuentes diferentes del ser humano y cuando no esté permitido fumar.

Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm ³ /s por persona	
Categoría	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Para una categoría de aire IDA 2, el caudal de aire exterior en cada zona se obtiene con la siguiente expresión:

$$\text{Caudal de aire exterior (m}^3/\text{h)} = 12,5 \frac{l}{s \cdot \text{persona}} \cdot \text{ocupación corregida} \cdot \frac{3600}{1000}$$

Y a partir de este valor se puede obtener el valor de renovaciones por hora que hay que introducir en LIDER:

$$\text{Renovaciones/hora} = \frac{\text{Caudal de aire exterior (m}^3/\text{h)}}{\text{Volumen del espacio (m}^3\text{)}}$$

La ocupación en este apartado se ha corregido con los mismos factores que en el apartado *Cálculo de la intensidad de ocupación*. La ventilación de cada espacio se recoge en la tabla siguiente:



Espacio	Área (m ²)	Altura (m)	Ocupación corregida	Caudal de aire exterior (dm ³ /s-persona)	Caudal de aire exterior (m ³ /h)	Ventilación (ren/h)
P01_E01	1273,39	4	15	12,5	675	0,13
P01_E02	383,29	4	15	12,5	675	0,44
P01_E03	35	4	4	12,5	180	1,29
P01_E04	227,36	4	5	12,5	225	0,25
P01_E05	12	4	1	12,5	45	0,94
P01_E06	280,66	4	21	12,5	960	0,86
P01_E07	375	4	21	12,5	960	0,64
P01_E09	278,3	4	32	12,5	1440	1,29
P02_E01	255,78	4	11	12,5	480	0,47
P02_E02	735,9	4	15	12,5	675	0,23
P02_E04	536,96	4	15	12,5	675	0,31
P02_E05	48,13	4	4	12,5	180	0,93
P02_E06	12	4	1	12,5	45	0,94
P03_E01	144,62	4	15	12,5	675	1,17
P03_E03	200	4	10	12,5	432	0,54
P03_E04	48,13	4	4	12,5	180	0,93
P03_E06	383,78	4	85	12,5	3840	2,50
P03_E07	172,55	4	43	12,5	1920	2,78
P03_E08	172,55	4	10	12,5	450	0,65
P03_E09	12	4	1	12,5	45	0,94
P03_E10	472,96	4	15	12,5	675	0,36
P04_E01	144,62	4	15	12,5	675	1,17
P04_E02	472,96	4	15	12,5	675	0,36
P04_E03	200	4	10	12,5	432	0,54
P04_E04	48,13	4	4	12,5	180	0,93
P04_E06	383,78	4	117	12,5	5280	3,44
P04_E07	172,55	4	27	12,5	1200	1,74
P04_E09	12	4	1	12,5	45	0,94
P04_E10	172,55	4	64	12,5	2880	4,17
P05_E01	144,62	4	15	12,5	675	1,17
P05_E02	472,96	4	15	12,5	675	0,36
P05_E03	200	4	10	12,5	432	0,54
P05_E04	48,13	4	4	12,5	180	0,93
P05_E05	383,78	4	117	12,5	5280	3,44
P05_E06	172,55	4	27	12,5	1200	1,74
P05_E07	12	4	1	12,5	45	0,94
P05_E08	172,55	4	64	12,5	2880	4,17

Tabla 17: Necesidades de ventilación de los espacios

6.7 Reformas implementadas en el edificio para reducir la demanda energética – Calener VyP

En los apartados siguientes se han estudiado diferentes alternativas y configuraciones para analizar la influencia que los distintos parámetros tienen sobre la demanda energética del edificio, con el fin de obtener la alternativa que minimice esa demanda. La siguiente tabla muestra algunos de los ensayos realizados con el software LIDER y Calener VyP:



	Definición	Calefacción (kWh/m ² año)		Refrigeración (kWh/m ² año)		Demanda conjunta (kWh/m ² año)		Demanda EO/ Demanda ER
		Edificio Objeto	Edificio Referencia	Edificio Objeto	Edificio Referencia	Edificio Objeto	Edificio Referencia	
1	Edificio de partida (3 plantas y garaje en sótano) sin ventilación definida	36,8	36,9	9,1	12,3	45,9	49,2	0,93
2	Reducción de la superficie acristalada (huecos a sur de 0,9x2, altura de los huecos a norte de 1,2m y eliminación de las superficies acristaladas horizontales) sin ventilación definida	26,3	38,8	9,2	10,9	35,5	49,7	0,71
3	Ventilación según RITE, partiendo de 2	66,6	77,4	4,4	5,8	71	83,2	0,85
4	Huecos a sur más grandes con el fin de reducir la demanda de calefacción, partiendo de 3	73,8	75,9	4,7	6,5	78,5	82,4	0,95
5	Permeabilidad al aire a 100 Pa de 50 m ³ /hm ² a 27m ³ /hm ² , partiendo de 4	66,6	77,3	4,4	5,8	71	83,1	0,85
6	Ren/h RITE, Intensidad de ocupación 8h, partiendo de 5	65,6	77,3	4,8	5,8	70,4	83,1	0,85
7	Ren/h RITE, Intensidad de ocupación 12h, partiendo de 5	68	81,6	13	14,9	81	96,5	0,84
8	0,5 ren/h, Intensidad de ocupación 12h, partiendo de 5	6,5	21,4	22,3	22,8	28,8	44,2	0,65
9	0 ren/h, Intensidad de ocupación 12h, partiendo de 5	0	9,3	36	28,9	36	38,2	0,94
10	1 ren/h, Intensidad de ocupación 12h, partiendo de 5	20	34,6	16,2	17,9	36,2	52,5	0,69
11	2 ren/h, Intensidad de ocupación 12h, partiendo de 5	45,3	58,6	12,5	14,2	57,8	72,8	0,79
12	Corrección factor solar en verano de 0.8 a 0.5 , partiendo de 7	68,9	81,6	11,1	14,9	80	96,5	0,83
13	Corrección del valor de pilares en fachada a 0 partiendo de 12 (hay muros de carga, no pilares)	67,1	80,4	10,9	14,9	78	95,3	0,82
14	Quitar las lamas y el deployee y dejar la protección estacional, no fija, partiendo de 13	62,4	80,4	12,6	14,9	75	95,3	0,79
15	Cálculo de la resistencia térmica de las cámaras de aire del falso techo, partiendo de 14	63,4	80,4	12,7	14,9	76,1	95,3	0,80
16	Fachadas ventiladas en los muros S,E y O, partiendo de 15	63,4	80,4	12,7	14,9	76,1	95,3	0,80
17	Se deja el valor de ventilación en 1ren/h para estudiar el efecto de la envolvente en la demanda de climatización, , partiendo de 16	15,7	33,3	16,1	18	31,8	51,3	0,62
18	Se añade la planta P05, idéntica a P04, partiendo de 17	13,9	32,9	18,1	20,3	32	53,2	0,60
19	Cambio del sótano a habitable (eliminación del garaje), , partiendo de 18	18,7	39	17,1	18,7	35,8	57,7	0,62
20	Ventilación según RITE , partiendo de 19	32,7	57,1	16,9	17,3	49,6	74,4	0,67
21	Ventanas más grandes (N-altura de 2,3m; resto 1,5x3), partiendo de 20	29,1	52,2	21,2	23,9	50,3	76,1	0,66

Tabla 18: Reformas realizadas con Calener VyP para optimizar la envolvente



De la tabla anterior destacan los siguientes puntos.

6.7.1 Influencia de la superficie acristalada en la demanda

El edificio de partida tenía la fachada norte completamente acristalada y los huecos de la fachada sur y de los patios tenían unas dimensiones de $1,5 \times 3 \text{m}^2$ (1). En (2) se ha reducido el acristalamiento del muro norte a una franja de 1,2m de alto de lado a lado del mismo, y los demás huecos se han reducido a $0,9 \times 2 \text{m}^2$. Con esto se ha conseguido reducir el cociente entre demanda del edificio objeto y demanda del edificio de referencia de 0,93 a 0,71.

6.7.2 Influencia de la ventilación en la demanda

Como se puede observar en los resultados (8), (9), (10) y (11) la demanda de calefacción va disminuyendo según se reduce el valor de renovaciones hora en cada una de las zonas hasta llegar a cero cuando éstas se anulan. Esto significa que toda la demanda de calefacción obtenida con este software es totalmente debida al aire que entra al edificio desde el exterior.

6.7.3 Influencia de la intensidad de ocupación

En (6) y (7) se comprueba cómo, curiosamente, la demanda de calefacción no varía apenas con el tiempo de ocupación del edificio, a pesar de tener varios espacios con intensidad de ocupación alta.

6.7.4 Fachadas ventiladas

En las filas (15) y (16) se puede comprobar cómo según los cálculos de Calener VyP poner fachadas ventiladas o no ponerlas es indiferente. Esto es debido a que, como ya se ha comentado anteriormente, el software utilizado no calcula resultados con este tipo de elementos. Evidentemente, las fachadas ventiladas tienen una gran influencia en el control de la demanda, ya que además del sombraje proyectado en la pared, el aire que circula en su interior refresca el edificio. se las cámaras de aire ligeramente ventiladas que se han utilizado para simular este aspecto.

6.7.5 Influencia de la superficie acristalada

En los archivos (1) y (2) se comprueba cómo es ventajoso para la demanda del edificio el reducir la superficie acristalada. No obstante, en los archivos (21) y (22) se comprueba precisamente lo contrario, ya que en estos últimos es ventajoso aumentar la superficie acristalada. Esta diferencia puede ser debida a variaciones en otros factores, como son la reducción de la permeabilidad de los huecos o el factor solar del vidrio. Esto puede conseguir que los efectos de la radiación solar que entra por el cristal se equiparen con el aire que entra del exterior por los marcos. en al bajar la permeabilidad.

6.8 Reformas implementadas en el edificio para reducir la demanda energética – Calener GT

Con el software Calener GT se realizaron otras pruebas y comprobaciones con el fin de seguir reduciendo la demanda energética. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



Definición	Calefacción (kWh/m ² año)		Refrigeración (kWh/m ² año)		Demanda conjunta (kWh/m ² año)		Demanda EO/ Demanda ER
	Edificio Objeto	Edificio Referencia	Edificio Objeto	Edificio Referencia	Edificio Objeto	Edificio Referencia	
1 Edificio de menor demanda energética con Calener VyP Resultados de Calener VyP	29,1	52,2	21,2	23,9	50,3	76,1	0,66
2 Edificio de menor demanda energética con Calener VyP Resultados de Calener GT	8,7	18,7	96,8	88,2	105,5	106,9	0,97
3 Reducción del acristalamiento del muro norte a 1,2 m de altura, partiendo de 2	8,5	19,9	84,3	79,1	92,8	112,7	0,82
4 Reducción de los huecos orientados a sur, este y oeste a 0,9x2 m ² , partiendo de 3	8,8	21,6	74,4	71,2	83,7	92,8	0,90
5 Factor solar del vidrio de 0,49, partiendo de 4	9,7	21,6	65,6	71,2	75,3	92,8	0,81
6 Introducción de sombras que simulan los edificios de la calle Carlos III, partiendo de 5	10,7	24,1	61,8	64,9	72,5	89	0,81
7 Deployé en la fachada Sur, partiendo de 6	11	24,7	60,4	62,5	75,5	87,2	0,87
8 Sombra lateral en el patio Este, partiendo de 6	10,8	24,2	61,5	64,5	72,3	89,3	0,81
9 Sombras superiores en los patios Este y Oeste, partiendo de 6	11,3	25,3	57,6	58,7	68,9	84	0,82
10 Edificio definitivo – Corrección de valores y horarios de ventilación, iluminación y ocupación, partiendo de 6	23,9	24,9	65,5	106,1	89,4	131	0,68

Tabla 19: Reformas realizadas con Calener GT para la optimización de la envolvente



6.8.1 Comentarios

Resulta muy llamativo el comparar los resultados obtenidos para un mismo edificio con los software Calener VyP y Calener GT; los resultados de (1) y de (2) se refieren a un mismo edificio, el que tenía menor demanda de calefacción y refrigeración en Calener VyP. Una posible explicación a estos resultados es que Calener GT trabaja con una temperatura de consigna anual de 20°C, mientras que LIDER y Calener VyP realizan los cálculos con una temperatura de consigna en verano de 25°C y en invierno de 20°C, así que éste puede ser un motivo por el que la demanda de refrigeración es tan elevada. Además, los horarios de infiltraciones y la ventilación de las estancias aún no han sido definidos en el caso exportado a Calener GT (2), por lo que también influye en la diferencia de resultados.

Dado que el software oficial para grandes edificios terciarios es el Calener GT, y que este software es más preciso que Calener VyP, los resultados que se consideran correctos son los obtenidos con éste primer programa.

En Calener GT, la introducción de elementos de sombraje en los patios no resulta ventajoso, ya que el edificio de referencia cuenta con los mismos elementos de sombra que el edificio objeto.

Además, al estar amparado el edificio en su fachada sur por dos edificios altos, los efectos de los elementos de sombraje no tienen demasiada utilidad. Por estos motivos, se han eliminado los elementos de sombraje de los patios.

6.9 Cumplimiento de la HE1

Una vez obtenida la configuración definitiva del edificio, se comprueba con LIDER que cumple con la HE1. Con el nuevo DB HE, el resultado que arroja LIDER no es correcto. Para cumplir con la HE1, el porcentaje de ahorro de la demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración, respecto al edificio de referencia debe ser igual o superior al establecido en la tabla 2.2:

Zona climática de verano	Carga de las fuentes internas			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1, 2	25%	25%	25%	10%
3, 4	25%	20%	15%	0%*

Imagen 15: Porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos, en %

Para una zona climática 3 y una carga de las fuentes internas alta, se debe obtener un porcentaje de ahorro mínimo del 15%. Como la demanda conjunta del edificio objeto entre el edificio de referencia es de 0,68 el porcentaje de ahorro obtenido es del 32%, cumpliéndose de este modo con la HE1.



6.10 Cumplimiento de la HE0

Para verificar el cumplimiento de la HE0 la calificación energética para el indicador consumo energético de energía primaria del edificio debe ser de una eficiencia igual o superior a la clase B, por lo que su cumplimiento está condicionado a la definición de las instalaciones que se hace en apartados posteriores y a la obtención de la calificación energética del edificio. Por lo tanto, el cumplimiento de la HE0 se obtendrá más adelante, una vez estén definidas todas las instalaciones del edificio.

7. Calener GT. Puntos comunes en todas las instalaciones.

Una vez se ha definido la geometría definitiva y se ha comprobado que el edificio cumple con la HE1, se incluyen en este software todas las instalaciones necesarias para el funcionamiento del edificio. A partir de este punto únicamente se trabaja con Calener GT.

A continuación se comentan los puntos comunes a todas las instalaciones, como son los horarios del edificio o las infiltraciones que se producen.

7.1 Horarios

Es necesario definir los horarios de ocupación⁴, iluminación, infiltraciones y funcionamiento de los equipos, teniendo las siguientes consideraciones:

- El edificio está abierto de lunes a viernes de 9:00 a 21:00, aunque puede haber personal de la universidad o del servicio de limpieza antes del horario de apertura. También se cuenta con que algunos sábados de 9:00 a 14:00 el edificio abra sus puertas para acoger exposiciones, charlas o la realización de exámenes.
- Como los sistemas de ventilación que se instalarán en el edificio presurizan las zonas donde se encuentren, las infiltraciones de aire exterior solamente se producirán cuando los equipos no estén funcionando. Por lo tanto, el horario de infiltraciones definido es el complementario al de ocupación.
- La refrigeración se considera que estará disponible desde el 16 de abril hasta el 30 de octubre mientras que la calefacción estará disponible desde el 1 de enero hasta el 15 de abril y desde el 31 de octubre hasta el 31 de diciembre.
- El mes de agosto cierra completamente el edificio, por lo que la ocupación y la iluminación son nulas ese mes.

7.2 Infiltraciones

En cuanto a las infiltraciones de aire exterior, dado que el edificio es muy estanco, en las zonas que tienen muros en contacto con el exterior las infiltraciones son de 0,5 mientras que las infiltraciones en aquellas zonas que no dan al exterior se han supuesto de 0,1.

⁴ Los horarios definidos en Calener GT se adjuntan en el anexo II del documento



Grado de exposición a los vientos	Nivel de estanqueidad del edificio		
	Bajo	Medio	Alto
Alto	1.5	0.8	0.5
Medio	1.1	0.6	0.5
Bajo	0.7	0.5	0.5

Tabla 20: Tabla 3 del manual de referencia de Calener GT.

8. Climatización

A continuación se presentan tres soluciones distintas para satisfacer la demanda de climatización del edificio:

1. Bomba de calor convencional con un intercambiador aerotérmico para la condensación.
2. Bomba de calor convencional con un intercambiador geotérmico para la condensación.
3. Planta enfriadora de agua por ciclo de absorción alimentada por agua caliente generada en una caldera de biomasa y con agua de refrigeración enfriada a través de un intercambiador geotérmico.

8.1 Bomba de calor convencional con un intercambiador aerotérmico para la condensación

En este primer caso se diseñará una instalación que funcione con una bomba de calor convencional y con condensación por aire. La idea es comparar las otras opciones, que incluyan energías renovables, con una opción convencional.

El motor de cálculo de Calener GT es el software DOE2, y al hacer la simulación del edificio este software genera una serie de ficheros de salida, entre ellos uno llamado usu.SIM. Este fichero contiene información sobre las demandas y consumos de energía de todos los espacios y sistemas definidos. Las demandas pico de calefacción y refrigeración obtenidas con Calener GT⁵ son:

	COOLING LOAD (KBTU/HR)	TIME OF PEAK	DRY- BULB	WET- BULB	HEATING LOAD (KBTU/HR)	TIME OF PEAK	DRY- BULB	WET- BULB
BUILDING PEAK	353.801	JUL 27 6 PM	89.F	73.F	-169.759	JAN 22 7 AM	39.F	39.F

Imagen 16: Demandas pico de calefacción y refrigeración en kbtu/h

A continuación se muestran las demandas pico de calefacción y refrigeración en kW:

Demanda de calefacción	49,8 kW
Demanda de refrigeración	103,7 kW

Tabla 21: Demandas pico de calefacción y refrigeración en kW

Dado que la demanda de refrigeración es mucho mayor que la de calefacción, se dimensionarán los equipos para que sean capaces de aportar el frío necesario en cada uno de

⁵ La temperatura de consigna con la que funciona es de 20°C.



los espacios, estando de este modo sobredimensionados cuando funcionen en modo calefacción.

Para la selección de las unidades interiores y exteriores, se ha empleado el software Calener BD, donde se han buscado las bombas de calor con condensación por aire con mayor rendimiento.

8.1.1 Selección de unidades exteriores

En total se dispondrá de cuatro unidades exteriores para satisfacer la demanda total de climatización del edificio, una por planta (excepto el sótano y la planta baja, que compartirán máquina). Las unidades seleccionadas pertenecen a la gama Multi V IV de LG.

Unidad exterior de las plantas P01 y P02

Unidad Exterior Cond. Aire: ARUN080LTE4

Categoría	MULTI V IV Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	22.4
Capacidad de calefacción (kW)	25.2
Consumo de refrigeración (kW)	4.4
Consumo de calefacción (kW)	4.6
EER (adim)	5.11
COP (adim)	5.50



Unidad exterior de la planta P03

Unidad Exterior Cond. Aire: ARUN100LTE4

Categoría	MULTI V IV Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	28.0
Capacidad de calefacción (kW)	31.5
Consumo de refrigeración (kW)	5.4
Consumo de calefacción (kW)	5.5
EER (adim)	5.20
COP (adim)	5.74



Unidad exterior de la planta P04

Unidad Exterior Cond. Aire: ARUN100LTE4

Categoría	MULTI V IV Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	28.0
Capacidad de calefacción (kW)	31.5
Consumo de refrigeración (kW)	5.4
Consumo de calefacción (kW)	5.5
EER (adim)	5.20
COP (adim)	5.74



Unidad exterior de la planta P05

Unidad Exterior Cond. Aire: ARUN120LTE4

Categoría	MULTI V IV Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	33.6
Capacidad de calefacción (kW)	37.8
Consumo de refrigeración (kW)	6.8
Consumo de calefacción (kW)	7.8
EER (adim)	4.91
COP (adim)	4.85



Imagen 17: Características de las unidades exteriores



8.1.2 Selección de unidades interiores

Una vez seleccionadas las unidades exteriores que mejor se ajustan a la demanda de calefacción y refrigeración, se escogen unidades interiores capaces de suministrar la potencia requerida en cada espacio.

Estas unidades interiores son equipos de expansión directa con las siguientes características:

<p>Unidad Interior: ARNU12GTRC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías (570x570)</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 3.6</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 2.5</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 4.0</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 522</p> <p>Potencia del ventilador (W) 43</p> 	<p>Unidad Interior: ARNU15GTQC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías (570x570)</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 4.5</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 3.3</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 5.0</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 660</p> <p>Potencia del ventilador (W) 43</p> 
<p>Unidad Interior: ARNU18GTQC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías (570x570)</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 5.6</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 3.9</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 6.3</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 672</p> <p>Potencia del ventilador (W) 43</p> 	<p>Unidad Interior: ARNU24GTPC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 7.1</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 5.1</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 8.0</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 1020</p> <p>Potencia del ventilador (W) 30</p> 
<p>Unidad Interior: ARNU28GTPC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 8.2</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 5.9</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 9.2</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 1140</p> <p>Potencia del ventilador (W) 30</p> 	<p>Unidad Interior: ARNU48GTMC2</p> <p>Categoría Cassette 4 vías</p> <p>Capacidad de refrigeración total (kW) 14.1</p> <p>Capacidad de refrigeración sensible (kW) 10.2</p> <p>Capacidad de calefacción (kW) 15.9</p> <p>Caudal de aire (m³/h) 1860</p> <p>Potencia del ventilador (W) 135</p> 

Imagen 18: Características de las unidades interiores de expansión directa



En la siguiente tabla se muestran las demandas pico de cada uno de los espacios acondicionados, la potencia de la unidad exterior y cada una de las potencias de las unidades interiores:

Espacio	Potencia unidad exterior (kW)	Demanda de refrigeración (kW)	Potencia unidad interior (kW)
P01_E06	22,4	4,54	5,6
P01_E07	22,4	5,38	5,6
P01_E09	22,4	4,87	5,6
P02_E01	22,4	5,80	5,6
P03_E03	28	3,64	3,6
P03_E06	28	13,53	14,1
P03_E07	28	6,38	7,1
P03_E08	28	3,61	3,6
P04_E03	28	3,68	3,6
P04_E06	28	13,23	14,1
P04_E07	28	4,64	4,5
P04_E10	28	5,60	5,6
P05_E03	33,6	4,68	5,6
P05_E05	33,6	14,13	14,1
P05_E06	33,6	5,30	5,6
P05_E08	33,6	7,63	8,2
Carga pico		106,643	112,1

Tabla 22: Potencia de refrigeración de las unidades interiores de cada espacio

Cuando los archivos han sido seleccionados en Calener BD, se exportan a Calener GT y se asigna cada máquina a su zona correspondiente.

8.1.3 Resultados obtenidos

Calener BD exporta estos equipos como equipos autónomos con las curvas características de las unidades exteriores y la potencia de calefacción y refrigeración de las unidades interiores.

Imagen 19: Clasificación de los equipos importados desde Calener BD

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el consumo de energía final anual de los equipos de climatización propuestos:

Consumo de Energía Final (kWh)	
	Electricidad
Refrigeración	22457,3
Calefacción	12857,6

Tabla 23: Consumo de energía final en el caso 8.1



8.2 Bomba de calor convencional con un intercambiador geotérmico para la condensación

En este caso se ha probado una máquina convencional con condensación por agua. Se estudiará el empleo de energía geotérmica para eliminar el calor aportado por la máquina al agua de condensación.

La característica principal de esta opción es el empleo de una tecnología de aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía en una bomba de calor convencional.

Por medio de un intercambiador geotérmico, se consigue enfriar el agua que procede del condensador cuando el equipo está trabajando en modo calefacción, y enfriar dicho agua cuando la bomba de calor está enfriando el edificio.

Para la instalación geotérmica se optó por el empleo de captadores horizontales en detrimento de los verticales, ya que aunque estos últimos son más efectivos, también son más caros y más complicados de instalar.

A continuación se muestran las bombas de calor con condensación por agua seleccionadas para cada planta y se procederá a calcular las características del intercambiador geotérmico.

El procedimiento seguido es que aparece en la guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica:

- Para empezar, se definirán las unidades exteriores e interiores con Calener BD.
- Con la información de estos equipos, se calculará el caudal del agua de condensación o caudal que deberá mover la bomba de la instalación geotérmica.
- A continuación se realizará un balance de energía con el fin de obtener el calor absorbido por el agua de condensación en el condensador.
- A partir de este valor, del salto de temperatura del agua de condensación y del calor específico del agua se obtendrá el caudal de agua necesario en cada una de las máquinas.

8.2.1 Selección de unidades exteriores e interiores

Las máquinas seleccionadas son similares a las propuestas en el apartado 8.1.1, con la diferencia de que la condensación del equipo se produce con agua. Esto hace que los rendimientos de los equipos sean mayores, aunque aumente notoriamente el consumo de bombas y equipos auxiliares.

El procedimiento seguido es el mismo: se seleccionan los equipos en Calener BD y se exportan a Calener GT.

En este caso, Calener BD exporta los equipos seleccionados como autónomos con bomba de calor agua/aire en circuito cerrado.



Unidad exterior de las plantas P01 y P02

Unidad Exterior Cond. Agua: ARWN080LAS4	
Categoría	MULTI V IV Water Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	22.4
Capacidad de calefacción (kW)	25.2
Consumo de refrigeración (kW)	3.9
Consumo de calefacción (kW)	4.2
EER (adim)	5.80
COP (adim)	6.00
Salto temp. agua condensador (°C)	5.00



Unidad exterior de la planta P03

Unidad Exterior Cond. Agua: ARWN100LAS4	
Categoría	MULTI V IV Water Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	28.0
Capacidad de calefacción (kW)	31.5
Consumo de refrigeración (kW)	5.1
Consumo de calefacción (kW)	5.3
EER (adim)	5.50
COP (adim)	5.90
Salto temp. agua condensador (°C)	5.00



Unidad exterior de la planta P04

Unidad Exterior Cond. Agua: ARWN100LAS4	
Categoría	MULTI V IV Water Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	28.0
Capacidad de calefacción (kW)	31.5
Consumo de refrigeración (kW)	5.1
Consumo de calefacción (kW)	5.3
EER (adim)	5.50
COP (adim)	5.90
Salto temp. agua condensador (°C)	5.00



Unidad exterior de la planta P05

Unidad Exterior Cond. Agua: ARWN120LAS4	
Categoría	MULTI V IV Water Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	33.6
Capacidad de calefacción (kW)	37.8
Consumo de refrigeración (kW)	6.5
Consumo de calefacción (kW)	6.8
EER (adim)	5.20
COP (adim)	5.60
Salto temp. agua condensador (°C)	5.00



Imagen 20: Características de las unidades exteriores

Nombre:	ARWN080LAS4_2
Tipo de sistema:	Aut. BdC agua/aire en cir. cerr.
Subtipo de sistema:	n/a
Unidad terminal:	n/a

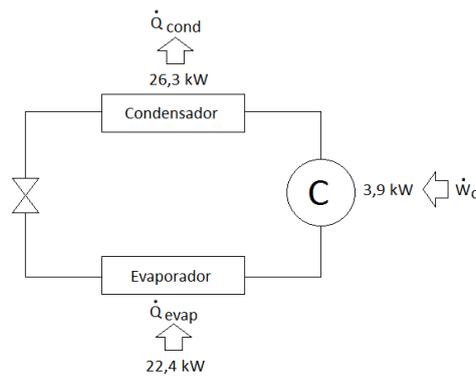
Imagen 21: Clasificación de los equipos importados desde Calener BD

8.2.2 Diseño del intercambiador geotérmico para las plantas P01 y P02

8.2.2.1 Cálculo del caudal de agua de condensación

El primer paso será calcular las características del intercambiador geotérmico para la bomba de calor correspondiente a las plantas P01 y P02 (sótano y planta baja).

A partir de la información del equipo, se calcula el calor absorbido por el agua de condensación.



$$\dot{Q}_{cond,1} = \dot{Q}_{evap,1} + \dot{W}_{C,1} = 22,4 + 3,9 = 26,3kW$$

Como el salto de temperaturas en el condensador es de 5°C, aplicando un balance de energía en el condensador calculamos el caudal de agua de refrigeración que necesitamos en el sistema:

$$\dot{Q}_{cond,1} = \dot{m}_{a,1} \cdot c_{p,a} \cdot \Delta T_{a,1} \rightarrow \dot{m}_{a,1} = \frac{\dot{Q}_{cond,1}}{c_{p,a} \cdot \Delta T_{a,1}} = \frac{26,3}{4,18 \cdot 5} = 1,26kg/s = 4,53m^3/h$$

8.2.2.2 Dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado

8.2.2.2.1 Temperaturas máximas y mínimas de la tierra.

Comenzamos recopilando los datos de temperaturas secas medias mensuales en la ciudad de Cartagena. Estos datos se obtienen de la *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*.

A partir de las temperaturas medias mensuales (T_A) estimamos la temperatura media anual de la ciudad de Cartagena.

Mes	TA (°C)
Enero	12,9
Febrero	13,6
Marzo	15,7
Abril	17,5
Mayo	20,5
Junio	24,3
Julio	26,6
Agosto	27,1
Septiembre	24,7
Octubre	21,3
Noviembre	16,4
Diciembre	13,7

Imagen 22: Temperatura media mensual en Cartagena

- Temperatura media anual: $T_m = 18,4^\circ\text{C}$

El siguiente paso es recopilar información del terreno donde se va a enterrar el intercambiador geotérmico. El tipo de terreno presente en el Campus Alfonso XII es de marga arcillosa, con las siguientes propiedades térmicas:



- Conductividad térmica: $k = 1,9947 \text{ W/mK}$
- Calor específico: $c_p = 2,2 \text{ MJ/m}^3\text{K}$
- Coeficiente de difusividad térmica: $\alpha = \frac{k}{c_p} = 0,00906682 \text{ cm}^2/\text{s}$

El intercambiador geotérmico estará enterrado a una profundidad de 5 metros, aprovechando la construcción de un sótano en el edificio.

- Profundidad del intercambiador: $X_s = 500 \text{ cm}$

A partir de las siguientes ecuaciones analíticas se calculan las temperaturas máximas (T_H) y mínimas (T_L) que ocurren durante el año para la profundidad X_s :

- Temperatura mínima del terreno: $T_L(X_s) = T_m - A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right)} = 16,61^\circ\text{C}$
- Temperatura máxima del terreno: $T_H(X_s) = T_m + A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right)} = 20,19^\circ\text{C}$

8.2.2.2.2 Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor

Las temperaturas de entrada que consideramos son, para calefacción y refrigeración:

- Temperatura de entrada en calefacción: $T_{e,c} = 13^\circ\text{C}$
- Temperatura de entrada en refrigeración: $T_{e,r} = 30^\circ\text{C}$

A partir de estos valores se calcula la temperatura de salida del agua de condensación, tanto para calefacción como para refrigeración:

- Temperatura de salida en calefacción: $T_{s,c} = T_{e,c} - \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c}}{c_p \left(\frac{Q}{3600}\right)} = 5,41^\circ\text{C}$
- Temperatura de salida en refrigeración: $T_{s,f} = T_{e,f} + \frac{1000 \cdot P_f \cdot \frac{COP_f - 1}{COP_f}}{c_p \left(\frac{Q}{3600}\right)} = 36,7^\circ\text{C}$

A partir de estas temperaturas estimamos las temperaturas máximas y mínimas de entrada:

- Temperatura mínima de entrada: $T_{MIN} = \frac{1}{2} (T_{s,c} + T_{e,c}) = \frac{1}{2} (4,41 + 12) = 9,21^\circ\text{C}$
- Temperatura máxima de entrada: $T_{MAX} = \frac{1}{2} (T_{s,f} + T_{e,f}) = \frac{1}{2} (36,7 + 30) = 33,35^\circ\text{C}$

8.2.2.2.3 Diferencia de temperatura entre la tierra y el circuito

Para calefacción, es necesario calcular la diferencia de temperatura entre la temperatura mínima del terreno (T_L) y la temperatura mínima del agua de la bomba de calor (T_{MIN}).

- $\Delta T_{L-MIN} = T_L - T_{MIN} = 16,61 - 8,21 = 7,4^\circ\text{C}$



Para refrigeración, la diferencia de temperaturas necesaria es la existente entre la temperatura máxima del agua que entra a la bomba de calor (T_H) y la temperatura máxima de la tierra (T_{MAX}).

- $\Delta T_{H-MAX} = T_H - T_{MAX} = 33,35 - 20,19 = 13,16^\circ\text{C}$

8.2.2.2.4 Resistencia de los tubos al flujo de calor

La siguiente expresión determina la resistencia térmica de las tuberías del intercambiador enterrado:

$$R_p = \frac{1}{2\pi \cdot k_p} \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)$$

Donde:

- D_o : Diámetro exterior del tubo (m).
- D_i : Diámetro interior del tubo (m).
- K_p : Conductividad térmica material del tubo (W/mK).

Vamos a probar tubos de polietileno y polibutileno, con distintos diámetros y propiedades diferentes, con el fin de seleccionar la configuración óptima:

Material	Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	D0 Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/mK)	Rp (K/(W/m))
Polietileno	PE50B	6	1"	25	21	0,29	0,0957
Polietileno	PE50B	6	1 1/2"	40	35,2	0,29	0,0702
Polietileno	PE50B	6	2"	50	44	0,29	0,0702
Polietileno	PE100	6	1"	25	21	0,43	0,0645
Polietileno	PE100	6	1 1/2"	40	35,4	0,43	0,0452
Polietileno	PE100	6	2"	50	45,4	0,43	0,0357
Polibutileno	PB5	8	1"	25	20,4	0,38	0,0852
Polibutileno	PB5	8	1 1/2"	40	32,6	0,38	0,0857
Polibutileno	PB5	8	2"	50	40,8	0,38	0,0852

Tabla 24: Propiedades de los colectores geotérmicos

8.2.2.2.5 Resistencia de la tierra

La resistencia de la tierra (R_s) es la inversa de la conductividad térmica del terreno. Este dato lo obtenemos del software proporcionado por el ministerio ICE, para cálculos de aplicación de bombas de calor geotérmicas:

$$R_s = R_{relleno} + R_{terreno} = 0,1383 + 0,2853 = 0,4236$$

8.2.2.2.6 Factor de utilización (fracciones de enfriamiento y calefacción)

El factor de utilización representa la fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor y, por tanto, el tiempo de funcionamiento estacional de la instalación.



Este factor determina la cantidad de calor que el sistema va a intercambiar con el suelo a lo largo del año.

Una manera simple de calcular la carga térmica es asumir que es una función lineal de la temperatura del aire exterior. De este modo, sólo se necesita conocer la carga calorífica o frigorífica para dos valores de temperatura exterior. Además, si se asume, por ejemplo, que el edificio sólo demandará calor para condiciones inferiores a 16 °C exteriores o que demandará frío a temperaturas superiores a los 21 °C exteriores, se puede definir perfectamente esta relación lineal tomando como segundo punto el valor de cargas de diseño (condiciones más desfavorables en calefacción o refrigeración).

Para relacionar la fracción de marcha de la bomba de calor para cada temperatura exterior con el número de horas de funcionamiento hay que conocer el tiempo (en horas) que la temperatura del aire exterior se encuentra dentro de un determinado intervalo, en decir, los “bin hours”.

El software ICE calcula el factor de utilización para calefacción y para refrigeración para una zona B3:

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Fcaleg	0,285	0,222	0,125	0,085	0,025	0,006	0,004	0,000	0,009	0,064	0,181	0,251
Fref	0,002	0,001	0,022	0,031	0,086	0,179	0,292	0,000	0,174	0,022	0,000	0,002

Tabla 25: Factores de utilización para calefacción y refrigeración

Los más desfavorables son el factor de utilización para calefacción del mes de enero y el factor de utilización para refrigeración del mes de julio:

- $F_{calefacción} = 0,285$
- $F_{refrigeración} = 0,292$

8.2.2.2.7 Cálculo de la longitud del tubo enterrado

Las expresiones que determinan la longitud del intercambiador de calor geotérmico son las siguientes:

$$L_{CALEFACCIÓN} = \frac{P_{calefacción} \cdot \frac{COP_{calefacción} - 1}{COP_{calefacción}} (R_P + R_S \cdot F_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}}$$

$$L_{REFRIGERACIÓN} = \frac{P_{refrigeración} \cdot \frac{COP_{refrigeración} - 1}{COP_{refrigeración}} (R_P + R_S \cdot F_{refrigeración})}{T_{MAX} - T_H}$$

Aplicando estas ecuaciones para los distintos tipos de tubos que se han considerado obtenemos los siguientes valores:



Material	Tipo	Diam Nominal (Pul)	Lcalef (m)	Lref (m)
Polietileno	PE50B	1"	615	310
Polietileno	PE50B	1 1/2"	543	274
Polietileno	PE50B	2"	543	274
Polietileno	PE100	1"	527	266
Polietileno	PE100	1 1/2"	472	239
Polietileno	PE100	2"	445	225
Polibutileno	PB5	1"	585	295
Polibutileno	PB5	1 1/2"	587	296
Polibutileno	PB5	2"	585	295

Tabla 26: Longitud de intercambiador geotérmico necesaria

El caso más desfavorable es el de calefacción, dado que la temperatura del agua es más parecida a la del suelo. De la columna de calefacción, seleccionamos el tipo de tubería que necesite una longitud menor. Por lo tanto, para la máquina de las plantas P01 y P02 se necesitan 445 metros de tubería de polietileno PE100 de dos pulgadas.

8.2.3 Diseño del intercambiador geotérmico para las plantas P03, P04 y P05

Repitiendo el procedimiento empleado en el punto anterior, se obtienen las longitudes del tubo del colector geotérmico necesarias en cada caso, empleando el mismo material.

	Planta P03	Planta P04	Planta P05
Longitud del colector geotérmico	537 m	537 m	644 m

Tabla 27: Longitud de colector geotérmico necesario en las plantas P03, P04 y P05

8.2.4 Cálculo de la altura de la bomba

Para calcular la altura de la bomba sumamos las pérdidas por fricción de los cuatro circuitos de agua. A la longitud calculada para el intercambiador geotérmico se le han sumado los metros que separan la azotea (lugar donde están ubicadas las máquinas) y el subsuelo a -5m.

La ecuación utilizada ha sido para calcular las pérdidas primarias en tuberías por fricción ha sido:

$$H_{L,tub} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

El factor de fricción para tuberías lisas f se puede aproximar con la siguiente expresión:

$$f = 0,316 Re^{-0,25}$$

Siendo Re el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

En aquellos casos donde la velocidad supere la cifra de 1m/s, se dividirá el caudal en tantos tramos como sea necesario para reducir la velocidad.



Máquina P01-P02		Máquina P03	
Diámetro	0,0454 m	Diámetro	0,0454 m
Longitud	487 m	Longitud	579 m
Área	0,0016 m ²	Área	0,0016 m ²
Caudal	4,83 m ³ /h	Caudal	5,701 m ³ /h
Velocidad	0,829 m/s	Velocidad	0,978 m/s
Nº circuitos	1	Nº circuitos	1
Re	37627	Re	44412
F	0,023	F	0,022
H _{L,tub}	8,52 m	H _{L,tub}	13,54 m

Máquina P06		Máquina P05	
Diámetro	0,0454 m	Diámetro	0,0381 m
Longitud	579 m	Longitud	686 m
Área	0,0016 m ²	Área	0,0011 m ²
Caudal	5,701 m ³ /h	Caudal	6,907 m ³ /h
Nº circuitos	1	Nº circuitos	2
Velocidad	0,978 m/s	Velocidad	0,841 m/s
Re	44412	Re	32058
F	0,022	F	0,024
H _{L,tub}	13,54 m	H _{L,tub}	15,34 m

H_{L, TOTAL}	50,94	m
-----------------------------	--------------	----------

Tabla 28: Estimación de la altura de la bomba de agua de condensación

8.2.5 Recálculo de la temperatura de entrada al circuito de refrigeración

Como la longitud del intercambiador en modo calefacción es muy superior a la necesaria en refrigeración, el siguiente paso es recalcular la temperatura de entrada al circuito de refrigeración con la longitud obtenida en el caso más desfavorable.

Las temperaturas de entrada a la máquina que igualan las longitudes de tuberías de calefacción y refrigeración son:

	T _{entrada,ref} (°C)
Equipo P01-P02	23,5
Equipo P03	21,7
Equipo P04	21,7
Equipo P05	21,7

Tabla 29: Temperatura de entrada del agua de refrigeración

Como en Calener GT sólo hay un circuito de condensación, además de altura total necesitamos conocer los valores de caudal total y temperatura de entrada en refrigeración promedio:

	Q (m ³ /h)	T _{entrada, ref} (°C)
Equipo P01-P02	4,53	23,5
Equipo P03	5,701	21,7
Equipo P04	5,701	21,7
Equipo P05	6,907	21,7
TOTAL	22,84	22,06

Tabla 30: Caudal total y temperatura de entrada media



8.2.6 Resultados obtenidos

Antes de mostrar los resultados, es necesario mencionar que el software Calener GT no tiene en su base de datos ningún tipo de intercambiador geotérmico. Para simular este efecto se definieron los siguientes equipos:

- Bomba de agua de condensación geotérmica.

Se definió una bomba con las características que debe tener la bomba que mueva el agua a través del intercambiador geotérmico.

Selección de Bomba: Bomba Condensación Geo	
Propiedades	Curvas comportamiento
Nombre:	Bomba Condensación Geo
Caudal:	22.840 l/h
Altura:	87,2 m
Potencia:	8,92 kW
Número de bombas:	1
Rendimiento del motor:	0,80 ratio
Rendimiento mecánico:	0,77 ratio
Tipo de control:	Velocidad constante

Imagen 23: Bomba de agua de condensación en Calener GT

- Torre de refrigeración.

El circuito de condensación debe ser capaz de evacuar el calor absorbido en el condensador. Por ello, es necesario definir un equipo que simule el intercambio de calor con el terreno. Se optó por colocar una torre de refrigeración cuya potencia nominal sea mayor que la demandada por el circuito y cuyo consumo de energía sea nulo.

Selección de Torre de refrigeración: Torre de refrigeración 1		
Características básicas	Conexiones a circuitos	Curvas comportamiento
Nombre:	Torre de refrigeración 1	
Tipo:	Torre circuito abierto	
General		
Potencia nominal:	220,00 kW	
Potencia ventilador por celda:	0,00 kW	
Número celdas:	1	
Temperatura de consigna:	22,0 °C	
Control Tª salida agua:	Ventilador 1 velocidad	
Parametros de diseño		
Tª bulbo húmedo:	25,5 °C	
Cercanía:	4,5 °C	

Imagen 24: Torre de refrigeración ficticia para simular el intercambiador geotérmico

- Caldera

Del mismo modo que el circuito de agua necesita evacuar calor en verano, necesita absorberlo en invierno. Por ello, se define una caldera con un rendimiento de 1000000 que haga el consumo de combustible nulo.



Imagen 25: Caldera ficticia para simular el intercambiador geotérmico

De esta forma, el circuito de climatización queda del siguiente modo:

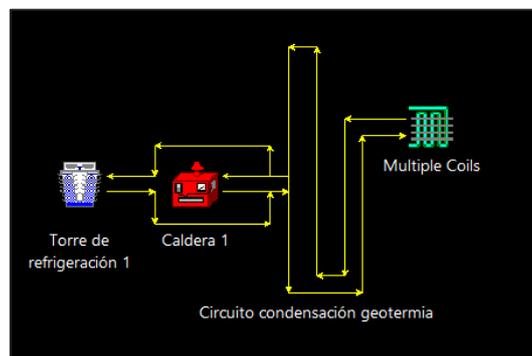


Imagen 26: Simulación del intercambiador geotérmico en Calener GT

Una vez aclarado este punto, se presentan resultados obtenidos para el consumo de energía final anual de los equipos de climatización propuestos:

Consumo de Energía Final (kWh)	
	Electricidad
Refrigeración	21552,8
Calefacción	27153,0
Sistemas de condensación	0,0
Bombas y Auxiliares	99649,1

Tabla 31: Consumo de energía final en el caso 8.2

8.3 Planta enfriadora de agua por ciclo de absorción accionada por agua caliente generada en una caldera de biomasa y con agua de refrigeración enfriada en un intercambiador geotérmico.

En el ciclo de absorción la circulación del fluido y el efecto de la presión se consigue aportando calor al generador donde el refrigerante está mezclado con otro fluido denominado absorbente cuya función es absorber el vapor en la zona de baja presión para poder devolverlo en forma líquida al generador.



Este calor necesario se obtiene en este caso de agua procedente de una caldera de biomasa a 88°C. El agua de refrigeración que circula a través del condensador y del absorbedor circula a través de un intercambiador geotérmico, donde cede al terreno el calor que ha el agua ha absorbido durante el recorrido que realiza.

La planta enfriadora solamente funciona cuando hay demanda de refrigeración. La demanda de calefacción se satisface directamente con el agua caliente que proviene de la caldera de biomasa.

8.3.1 Máquina de absorción seleccionada

Dado que en Calener BD no se encuentra información de ningún equipo de absorción, la planta enfriadora se ha seleccionado a partir de un catálogo y se ha introducido la información manualmente al software Calener GT.

PLANTAS ENFRIADORAS DE AGUA POR CICLO DE ABSORCIÓN			ABSORSISTEM					
TABLA ESPECIFICACIONES UNIDADES POR AGUA CALIENTE			ecología en frío					
YAZAKI			MODELOS					
Unidad de medida			WFC SC5	WFC-SC10	WFC-SC20	WFC-SC30	WFC-SC50	
Capacidad frigorífica			kW	17,6	35,2	70,3	105,0	176,0
Agua refrigerada	Temperatura agua refrigerada	entrada	°C	12,5				
		salida	°C	7,0				
	Pérdida de carga evaporador	kPa	56	51,0	59,8	60,8	35,9	
	Presión estática máxima	kPa	588					
	Caudal de agua	l/s	0,77	1,53	3,06	4,58	7,64	
Volumen de agua contenido			l	8	17	47	73	120
Agua de enfriamiento para disipación calor	Calor a disipar		kW	42,7	85,4	171,0	256,0	428,0
	Temperatura	entrada	°C	31,0				
		salida	°C	35,0				
	Pérdida de carga absorb/cond.	kPa	41	85,3	45,3	46,4	37,4	
	Factor ensuciamiento	kW/h/K/m ²	0,086					
	Presión estática máxima	kPa	588					
	Caudal de agua	l/s	2,5	5,1	10,2	15,3	25,6	
Volumen de agua contenido			l	37	66	125	194	335
Energía en forma de agua caliente al generador	Potencia calorífica a la entrada		kW	25,1	50,2	100,0	151,0	252,0
	Temperatura	entrada	°C	88,0				
		salida	°C	83,0				
		rango	°C	70 ~ 95				
	Pérdida de carga en generador	kPa	88	90,4	46,4	60,4	86,7	
	Presión estática máxima	kPa	588					
Caudal de agua	l/s	1,2	2,4	4,8	7,2	12,0		
Volumen de agua contenido			l	10	21	54	84	170
Electricidad	Potencia suministro			Mono 220V	380V c.a. - III - 50Hz			
	Consumo	W	48	210	260	310	550	
	Intensidad	A	0,23	0,43	0,92	1,25	4,74	
Control	Refrigeración		Todo - nada					
Dimensiones	Ancho	mm	594	760	1.060	1.380	1.780	
	Fondo	mm	744	970	1.220	1.520	1.960	
	Alto (incluidas placas fijación)	mm	1736	1.920	2.030	2.065	2.135	
Peso	En vacío	kg	365	500	930	1.450	2.400	
	En carga	kg		600	1.155	1.800	3.025	
Acústica	Nivel sonoro		dB(A)	46	49	52	54	
Sección tubos agua	Agua refrigerada			DN-32	DN-40	DN-50	DN-80	
	Agua enfriamiento (torre)			DN-40	DN-50	DN 65	DN-80	
	Agua caliente generador			DN-40	DN-50	DN-65	DN-80	
Envolvente y acabado exterior: Envolvente de chapa galvanizada y pintada en caliente de color metalizado plata, resistente al agua e instalable tanto en el interior como en el exterior.								

Imagen 27: Propiedades de la planta enfriadora por ciclo de absorción



Seleccionamos el equipo Yazaki WFC-SC30, con una capacidad de refrigeración de 105kW, siendo éste el equipo que mejor se adapta a la carga térmica del edificio.

El intercambiador geotérmico debe ser capaz de disipar los 256kW de calor recogidos en el absorbedor y en el condensador. El caudal de agua de enfriamiento es de 15,3 l/s:

$$Q_{cond+abs} = 15,3 \cdot 3600 = 55080m^3/h$$

$$\dot{Q}_{cond} = 256 kW$$

8.3.2 Caldera de biomasa

Se necesita una caldera de biomasa que suministre los 151kW de calor que requiere la máquina de absorción. Esta caldera se selecciona del catálogo de Ferroli, de donde se elige el modelo Forest 150:

FOREST		150	
Potencia útil / Generator heat input	W=30%	kW	174
Gasto calorífico/ Heat input	W=30%	kW	202
Contenido de agua / Water content		dm ³	456
Superficie de intercambio de calor (total) / Heat exchange surface (total)		m ²	14,5
Volumen cámara de combustión / Combustion chamber volume		m ³	0,48
Pérdida carga lado humos / Smoke side	Δp	mbar	1,1
Pérdida carga lado agua / Water side	Δp	mbar	120

Imagen 28: Propiedades de la caldera de biomasa

El rendimiento térmico de esta caldera se calcula a partir de la potencia útil y del gasto calorífico:

$$\eta_t = \frac{174}{202} = 0,86$$

Esta caldera aporta el calor que necesita la máquina de absorción, pero además es la encargada de generar el agua caliente que circulará por los fan-coils durante los meses de invierno. Esto supone un problema a la hora de implementarlo en Calener GT, pues una misma caldera no puede dar servicio de agua caliente a la planta enfriadora y a los fan-coils. Este problema se ha solucionado introduciendo dos calderas idénticas; una es la encargada de producir agua caliente para accionar la máquina de absorción (circuito a dos tubos 2T), y sólo estará activa en los meses de verano, y la otra producirá agua caliente que circule por los fan-coils (circuito de agua caliente AC), y únicamente estará activa los meses de invierno. De este modo, las dos calderas simulan el funcionamiento de la caldera real a instalar.



Propiedades | Curvas comportamiento

Nombre:

Tipo:

Subtipo:

General

Potencia nominal: kW

Temperatura de consigna: °C

Salto temperatura diseño: °C

Rendimiento térmico:

Rendimiento eléctrico:

Tipo combustible:

Conexiones a circuitos de agua caliente

Circuito:

Bomba:

Propiedades | Curvas comportamiento

Nombre:

Tipo:

Subtipo:

General

Potencia nominal: kW

Temperatura de consigna: °C

Salto temperatura diseño: °C

Rendimiento térmico:

Rendimiento eléctrico:

Tipo combustible:

Conexiones a circuitos de agua caliente

Circuito:

Bomba:

Imagen 29: Simulación del doble uso de la caldera

8.3.3 Unidades interiores

En este caso las unidades interiores son fan-coils por los que circula el agua enfriada en el evaporador. Las propiedades de los fan-coils se han consultado en Calener BD, pero se han insertado manualmente en Calener GT.

Unidad Interior: ARNU12GCEA2

Categoría	Suelo con carcasa
Capacidad de refrigeración total (kW)	3.6
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	2.7
Capacidad de calefacción (kW)	4.0
Caudal de aire (m³/h)	630
Potencia del ventilador (W)	28



Unidad Interior: ARNU15GCEA2

Categoría	Suelo con carcasa
Capacidad de refrigeración total (kW)	4.5
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	3.3
Capacidad de calefacción (kW)	5.0
Caudal de aire (m³/h)	690
Potencia del ventilador (W)	28



Unidad Interior: ARNU18GCEA2

Categoría	Suelo con carcasa
Capacidad de refrigeración total (kW)	5.6
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	4.0
Capacidad de calefacción (kW)	6.3
Caudal de aire (m³/h)	960
Potencia del ventilador (W)	76



Unidad Interior: ARNU24GCEA2

Categoría	Suelo con carcasa
Capacidad de refrigeración total (kW)	7.1
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	5.0
Capacidad de calefacción (kW)	8.0
Caudal de aire (m³/h)	1080
Potencia del ventilador (W)	76





Unidad Interior: ARNU42GBGA2		Unidad Interior: ARNU48GBRA2	
Categoría	Conducto alta presión	Categoría	Conducto alta presión
Capacidad de refrigeración total (kW)	12.3	Capacidad de refrigeración total (kW)	14.1
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	9.1	Capacidad de refrigeración sensible (kW)	10.6
Capacidad de calefacción (kW)	13.8	Capacidad de calefacción (kW)	15.9
Caudal de aire (m³/h)	2070	Caudal de aire (m³/h)	2688
Potencia del ventilador (W)	350	Potencia del ventilador (W)	370

Tabla 32: Propiedades de las unidades interiores tipo fan-coil

8.3.4 Información de la planta enfriadora en Calener GT

En Calener GT es necesario introducir los siguientes parámetros de la planta enfriadora:

Selecciónar Planta enfriadora:

Características básicas | Conexiones a circuitos | Curvas comportamiento

Nombre:

Tipo:

General	Condensador
Capacidad nominal refrigeración: <input type="text" value="105,00"/> kW	Tipo condensación: <input type="text" value="Por agua"/>
Capacidad nominal calefacción: <input type="text" value="n/a"/> kW	Fracción consumo térmico: <input type="text" value="1,00"/> ratio
EER (electricidad): <input type="text" value="339,00"/>	
COP (electricidad): <input type="text" value="n/a"/>	
EER (térmico): <input type="text" value="0,70"/>	
Temperatura de consigna: <input type="text" value="7,0"/> °C	
Tipo de combustible: <input type="text" value="n/a"/>	

Imagen 30: Planta enfriadora por ciclo de absorción en Calener GT

Los rendimientos térmico y eléctrico se calculan a partir de la información del catálogo:

- $EER(electricidad) = \frac{\dot{Q}_F}{E} = \frac{105 \text{ kW}}{0,31 \text{ kW}} = 339$
- $EER(térmico) = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_{GV}} = \frac{105 \text{ kW}}{151 \text{ kW}} = 0,7$

En cuanto a la fracción consumo térmico, ésta especifica la fracción de la potencia térmica consumida por la planta que aparece en el condensador.

Para las plantas de absorción alimentadas con agua caliente su valor es igual a 1.

- $Fracción \text{ consumo térmico} = 1$

En cuanto a los circuitos de agua de la máquina de absorción, hay un total de tres: circuito de agua caliente, circuito de agua refrigerada, y circuito de agua de enfriamiento.

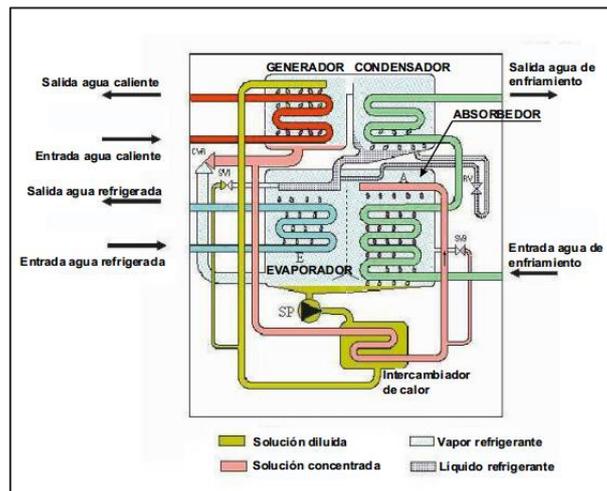


Imagen 31: Esquema de una máquina de absorción accionada por agua caliente

Los circuitos mencionados se introducen en Calener GT en la siguiente pestaña:

Selección Planta enfriadora: Planta enfriadora absorción	
Características básicas Conexiones a circuitos Curvas comportamiento	
Circuito agua fría	Circuito agua caliente
Nombre: Circuito Primario 2T	Nombre: Circuito AC
Bomba: - ninguno/a -	Bomba: - ninguno/a -
Salto Tª: 5,5 °C	Salto Tª: 5,0 °C
Circuito condensación	Circuito recuperación calor
Nombre: Circuito Condensación	Nombre: n/a
Bomba: - ninguno/a -	Bomba: n/a
Salto Tª: 4,0 °C	Salto Tª: n/a °C
	Máxima T recuperación: n/a °C

Imagen 32: Circuitos conectados a la máquina de absorción

A continuación se presentarán para cada uno de los circuitos los valores de calor intercambiado, caudal y salto de temperatura.

8.3.4.1 Circuito de agua caliente.

El circuito de agua caliente es el que alimenta el generador de vapor de la máquina de absorción. El agua caliente procederá en este caso de una caldera de biomasa. Las características de este circuito son:

- $\dot{Q}_C = 151 \text{ kW}$
- $Q_{AC} = 7,2 \text{ l/s} = 25920 \text{ l/h}$
- $\Delta T = 5^\circ\text{C}$

8.3.4.2 Circuito de agua refrigerada.

El circuito de agua refrigerada es el que alimenta los diferentes fancoils distribuidos por el edificio. Sus parámetros característicos son:



- $\dot{Q}_F = 105 \text{ kW}$
- $Q_{AF} = 4,58 \text{ l/s} = 16488 \text{ l/h}$
- $\Delta T = 5,5^\circ\text{C}$

8.3.4.3 Circuito de agua de refrigeración.

El agua que circula por este circuito es la encargada de disipar el calor en el condensador y en el absorbedor de la máquina. Sus características son las siguientes:

- $\dot{Q}_{cond,abs} = 256 \text{ kW}$
- $Q_{cond} = 15,3 \text{ l/s} = 55080 \text{ l/h}$
- $\Delta T = 4^\circ\text{C}$

8.3.5 Diseño del intercambiador geotérmico

El procedimiento seguido en este punto es el mismo que el explicado en el punto 8.2.2. Por lo tanto, para la correcta disipación del calor absorbido en el condensador de la máquina de absorción se necesitan 402 metros de tubería de polietileno PE100 de dos pulgadas.

8.3.6 Cálculo de la altura de la bomba del circuito de condensación

Para calcular la altura de la bomba, a los metros de tubería anteriormente calculados le sumamos la diferencia de cotas entre la azotea y el subsuelo, pues se considera que la máquina estará ubicada en la azotea.

Dado que nos interesa que el intercambio en el intercambiador geotérmico sea efectivo, la velocidad del fluido que circule por los tubos debe ser inferior a 1 m/s.

Circuito agua de refrigeración	
Diámetro	0,0454 m
Longitud	444 m
Área	0,0016 m ²
Caudal	55,08 m ³ /h
Velocidad	0,945 m/s
Nº circuitos	10
Re	42909
F	0,022
H_{L,tub}	9,78 m

Tabla 33: Altura de la bomba para el circuito de condensación

Repartiendo el caudal total en diez circuitos, la altura que requiere la bomba es de 9,78 metros.

8.3.7 Cálculo de la altura requerida en cada una de las bombas de los circuitos secundarios

En total se definirán cuatro circuitos de agua fría, uno para el sótano y la planta baja y para el resto de plantas un circuito para cada una de ellas.

8.3.7.1 Reparto del caudal de agua fría según la demanda

Consultando la ficha técnica del equipo es posible conocer el caudal total de agua fría que genera la planta enfriadora. A partir de la demanda de frío de cada planta, se reparte el caudal total entre los cuatro circuitos de manera proporcional a la demanda:



Caudal total AF	16488	l/h
Demanda total	85,79	kW
	Demanda frio (kW)	Caudal por bomba (l/h)
Planta P01-P02	16,19	3112
Planta P03	20,47	3934
Planta P04	23,43	4503
Planta P05	25,7	4939

Tabla 34: Reparto del caudal de agua fría según la demanda

8.3.7.2 Cálculo de las alturas de las bombas

Comenzamos estimando la longitud de tuberías para cada uno de los circuitos secundarios. Suponiendo que las máquinas están en la azotea y que los fan-colis se encuentran apoyados en el suelo, la longitud se estimará como la distancia entre la azotea y el suelo de cada planta más dos veces la distancia longitudinal del edificio (75 m)

Bomba	Longitud
Bomba P01-P02	$L_{P01-P02} = 75 \cdot 4 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 16 = 372 \text{ m}$
Bomba P03	$L_{P03} = 75 \cdot 2 + 2 \cdot 12 = 174 \text{ m}$
Bomba P04	$L_{P04} = 75 \cdot 2 + 2 \cdot 8 = 166 \text{ m}$
Bomba P05	$L_{P05} = 75 \cdot 2 + 2 \cdot 4 = 158 \text{ m}$

Tabla 35: Longitud de tubería en cada circuito

Bomba P01-P02			Bomba P05		
D	0,053	m	D	0,053	m
L	372	m	L	174	m
Área	0,0022	m ²	Área	0,0022	m ²
Q	3,112	m ³ /h	Q	3,934	m ³ /h
v	0,392	m/s	v	0,495	m/s
Re	20767		Re	26252	
f	0,026		f	0,025	
H_{L,tub}	1,45	m	H_{L,tub}	1,02	m
Bomba P03			Bomba P04		
D	0,053	m	D	0,053	m
L	166	m	L	158	m
Área	0,0022	m ²	Área	0,0022	m ²
Q	4,503	m ³ /h	Q	4,939	m ³ /h
v	0,567	m/s	v	0,622	m/s
Re	30049		Re	32959	
f	0,024		f	0,023	
H_{L,tub}	1,23	m	H_{L,tub}	1,38	m

Tabla 36: Altura de las bombas en cada circuito



En cuanto a la bomba del circuito primario, supondremos que este circuito tiene una longitud de 20m:

Bomba planta enfriadora (primario)		
D	0,053	m
L	20	m
Área	0,0022	m ²
Q	16,488	m ³ /h
v	2,076	m/s
Re	110027	
f	0,017	
H _{L,tub}	1,44	m

Tabla 37: Altura de la bomba del circuito primario

Para la bomba del circuito de la caldera supondremos también una longitud de 20m, pero en este caso el diámetro es un DN65:

Bomba caldera		
D	0,0689	m
L	20	m
Área	0,0037	m ²
Q	25,92	m ³ /h
v	1,931	m/s
Re	133053	
f	0,017	
H _{L,tub}	0,91	m

Tabla 38: Altura de la bomba del circuito de agua caliente

8.3.8 Resultados obtenidos

En este circuito ha sido necesario definir nuevamente, igual que en el punto 8.2.8, una caldera y una torre de refrigeración que simulen el efecto del intercambiador geotérmico.

El esquema del circuito queda pues del siguiente modo:

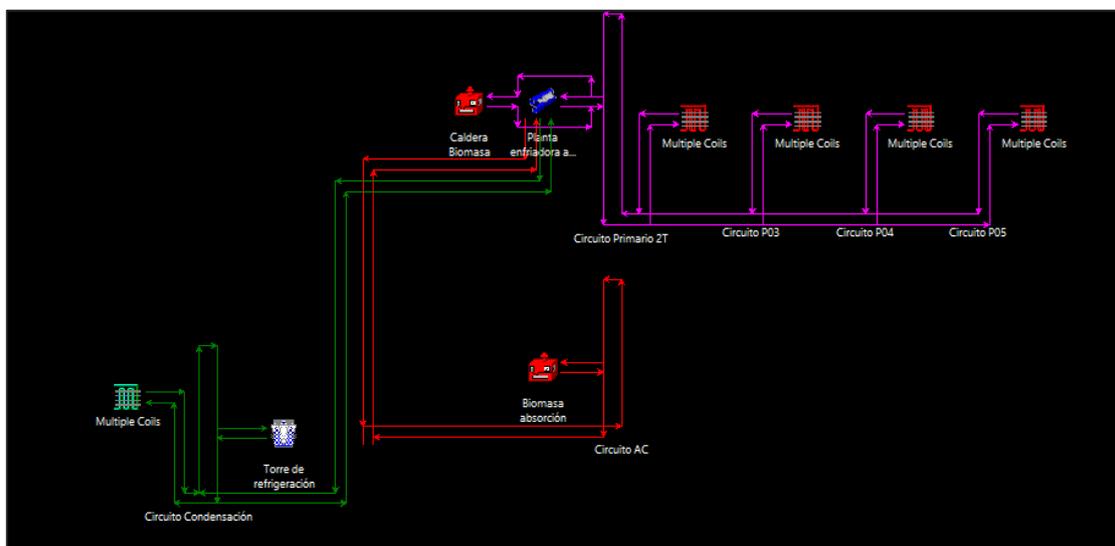


Imagen 33: Esquema del circuito de absorción



La siguiente tabla recoge los valores de consumo de energía final debida a la climatización:

Consumo de Energía Final (kWh)		
	Electricidad	Biomasa
Refrigeración	7037	186194,5
Calefacción	21151,2	35513,6
Sistemas de condensación	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	60960,2	0,0

9. Ventilación

9.1 Ventilación en Calener GT

La primera opción que se barajó para poner la ventilación en los ficheros de Calener GT fue introducir la ventilación en la pestaña *Zonas* de cada uno de los espacios climatizados.

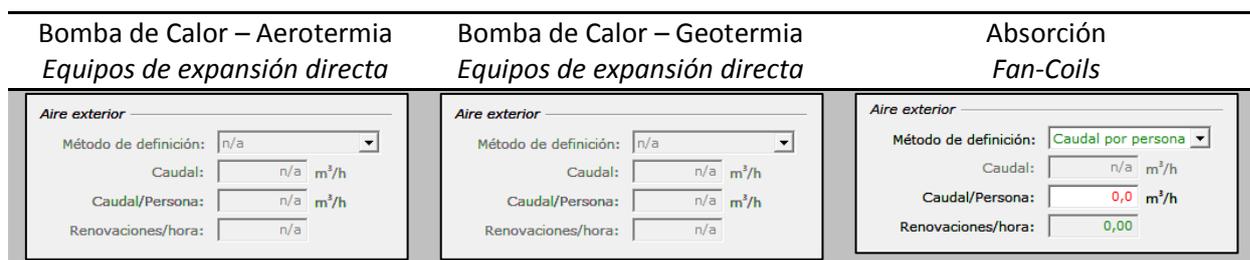


Imagen 34: Ventilación incorporada en las zonas climatizadas

Como se puede observar, los equipos de expansión directa no permiten introducir la ventilación necesaria de esta forma.

Por otro lado, el RITE exige que en los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m³/s, se recuperará la energía del aire expulsado.

Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m³/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la tabla siguiente:

Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m ³ /s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000 ... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000 ... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Imagen 35: Eficiencia de la recuperación mínima - RITE

En el archivo usu.SIM se puede ver que los equipos de climatización funcionan unas 3800 horas anuales, y el caudal de aire exterior calculado es 10,6 m³/s, por lo que se necesita una recuperación de calor con una eficiencia mínima del 58%



Al intentar poner la recuperación de calor en los equipos de climatización propuestos esto es lo que aparece:

Bomba de Calor – Aerotermia <i>Equipos de expansion directa</i>	Bomba de Calor – Geotermia <i>Equipos de expansion directa</i>	Absorción <i>Fan-Coils</i>
<p><i>Enfriamiento gratuito</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="n/a"/></p> <p>Tipo de control: <input type="text" value="n/a"/></p> <p><i>Recuperación de Calor</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="n/a"/></p> <p>Efectividad: <input type="text" value="n/a"/></p>	<p><i>Enfriamiento gratuito</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="n/a"/></p> <p>Tipo de control: <input type="text" value="n/a"/></p> <p><i>Recuperación de Calor</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="Sí"/></p> <p>Efectividad: <input type="text" value="0,58"/></p>	<p><i>Enfriamiento gratuito</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="n/a"/></p> <p>Tipo de control: <input type="text" value="n/a"/></p> <p><i>Recuperación de Calor</i></p> <p>¿Existe? <input type="text" value="n/a"/></p> <p>Efectividad: <input type="text" value="n/a"/></p>

Imagen 36: Recuperación de calor en los tres métodos de climatización propuestos

Como se puede observar, únicamente se permite la recuperación de calor en el caso de bomba de calor agua/aire.

Por todos estos inconvenientes, se optó por definir en los tres casos un sistema de ventilación a través de una climatizadora de aire primario. Para ello, es necesario definir una zona ficticia de aire primario que contenga toda la ventilación del edificio:

Seleccionar zona:

Especificaciones Básicas | Caudales | Unidades terminales

Aire impulsión

Diseño: m³/h

Fracción mínima: ratio

Aire exterior

Método de definición:

Caudal: m³/h

Caudal/Persona: m³/h

Renovaciones/hora:

Ventilador de extracción

¿Existe?

Caudal: m³/h

Potencia: kW

Imagen 37: Zona de aire primario

9.2 Cálculo de las baterías de aire frío y aire caliente

La climatizadora de aire primario necesita dos baterías, una de calefacción y otra de refrigeración, que acondicionen el aire que se toma del exterior a las condiciones de confort antes de introducirlo en los espacios acondicionados del edificio.

A partir de la temperatura del aire exterior, se calcula la potencia sensible necesaria para llevar la temperatura de dicho aire hasta la temperatura de confort mediante la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{sens} = Q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Siendo:

- Q : Caudal de aire exterior.
- T_m : Temperatura media entre la máxima o la mínima del aire exterior y la temperatura del aire interior.



- ΔT : diferencia de temperatura entre la máxima o la mínima del aire exterior y la temperatura del aire interior.
- ρ : Densidad del aire a temperatura media.
- c_p : calor específico del aire a la temperatura media.

El caudal de aire exterior necesario en las zonas acondicionadas se obtiene a partir de la ocupación del edificio:

Espacio	Descripción	Ocupación corregida	Caudal de aire exterior (dm ³ /s·persona)	Caudal de aire exterior (m ³ /h)
P01_E06	Laboratorio x2	21	12,5	960
P01_E07	Laboratorio x2	21	12,5	960
P01_E09	Laboratorio x3	32	12,5	1440
P02_E01	Departamentos x4	11	12,5	480
P03_E03	Despachos x6	10	12,5	432
P03_E06	Aula gráfica x3 + Aula proyectos	85	12,5	3840
P03_E07	Aula proyectos x2	43	12,5	1920
P03_E08	Sala de conferencias	10	12,5	450
P04_E03	Despachos x6	10	12,5	432
P04_E06	Aula proyectos+Aula PFG+Aula teoríax2	117	12,5	5280
P04_E07	Aula informática	27	12,5	1200
P04_E10	Aula teoría x2	64	12,5	2880
P05_E03	Despachos x6	10	12,5	432
P05_E05	Aula proyectos + Aula PFG + Aula teoría x2	117	12,5	5280
P05_E06	Aula informática	27	12,5	1200
P05_E08	Aula teoría x2	64	12,5	2880
Caudal total de aire exterior				30066

Tabla 39: Caudal de aire exterior necesario

Una vez se conoce el caudal de aire exterior necesario para la correcta ventilación del edificio, se calcula la potencia sensible que requieren las baterías.

	Invierno	Verano
T_{\min} / T_{\max} aire exterior (°C)	5,9	32,3
T aire interior (°C)	21	26
T_m (°C)	13,45	29,15
ρ (kg/m ³)	1,232	1,168
c_p (KJ/kgK)	1,007	1,007
Q (m ³ /s)	8,352	8,352
\dot{Q}_{sens} (kW)	156	62

Tabla 40: Potencia sensible de las baterías de frío y de calor

Como la batería de calefacción sólo proporciona carga sensible, la potencia de la batería que se necesita es de 156kW. Sin embargo, una batería de enfriamiento quita carga latente y carga sensible. La carga latente en una batería de frío depende de las condiciones de entrada del aire de retorno y de la temperatura de entrada del agua a la batería, y son valores que se pueden considerar constantes (las condiciones del aire son 25°C y 50% de humedad relativa, y la temperatura de entrada del agua es de unos 7°C). Para esas condiciones, la relación entre



carga latente y sensible es de un 75 o un 80%. Como se necesitan 62 kW de carga sensible, la potencia total de la batería será de unos 85 kW.

Imagen 38: Baterías de calefacción y refrigeración

Con esta climatizadora de aire primario ya es posible definir la eficiencia de la recuperación de calor y la posibilidad de existencia de enfriamiento gratuito.

9.3 Técnicas de recuperación de calor

A continuación se realizarán tres ensayos: uno únicamente con recuperación de calor, otro con enfriamiento gratuito y otro con ambas opciones. Como los tres ficheros comparten el mismo sistema de ventilación, se pondrán los resultados de uno cualquiera de ellos.

Sin recuperación de calor y sin enfriamiento gratuito			Solo recuperación de calor		
Consumo Energía Final (kWh)			Consumo Energía Final (kWh)		
	Electricidad	[TODOS]		Electricidad	[TODOS]
Iluminación	85328,5	85328,5	Iluminación	85328,5	85328,5
Refrigeración	22287,8	22287,8	Refrigeración	22457,3	22457,3
Sistema de condensación	0,0	0,0	Sistema de condensación	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	1312,2	1312,2	Bombas y Auxiliares	1312,2	1312,2
Ventiladores	29385,1	29385,1	Ventiladores	29385,1	29385,1
Calefacción	16795,1	16795,1	Calefacción	12857,6	12857,6
ACS	46747,2	46747,2	ACS	46747,2	46747,2
TOTAL	201855,9	201855,9	TOTAL	198087,9	198087,9

Solo enfriamiento gratuito (por entalpías)			Recuperación de calor y enfriamiento gratuito		
Consumo Energía Final (kWh)			Consumo Energía Final (kWh)		
	Electricidad	[TODOS]		Electricidad	[TODOS]
Iluminación	85328,5	85328,5	Iluminación	85328,5	85328,5
Refrigeración	22287,8	22287,8	Refrigeración	22457,3	22457,3
Sistema de condensación	0,0	0,0	Sistema de condensación	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	1312,2	1312,2	Bombas y Auxiliares	1312,2	1312,2
Ventiladores	29385,1	29385,1	Ventiladores	29385,1	29385,1
Calefacción	16795,1	16795,1	Calefacción	12857,6	12857,6
ACS	46747,2	46747,2	ACS	46747,2	46747,2
TOTAL	201855,9	201855,9	TOTAL	198087,9	198087,9

Tabla 41: Consumo eléctrico anual con diferentes técnicas de recuperación



Resulta curioso comprobar que para el software el hecho de poner o no poner enfriamiento gratuito no varía los resultados obtenidos. Esto puede ser debido a que el software trabaja para una temperatura de consigna de 20°C, por lo que es difícil que se consiga enfriamiento gratuito cuando éste sea necesario.

Lo que sí reduce notoriamente la demanda de calefacción es el recuperador de calor, consiguiéndose una reducción del 23%. La demanda de refrigeración es ligeramente superior con recuperación de calor al caso sin recuperación de calor. Esto puede deberse a que la recuperación de calor en verano sea poco ventajosa y la posible reducción de consumo de energía obtenida se vea compensada por el aumento de consumo en ventiladores derivado de la mayor pérdida de carga que se tiene al hacer pasar el aire a través del recuperador de calor.

Dado que no se dispone de ninguna información adicional, se ha decidido poner como única técnica de recuperación la recuperación de calor que exige el RITE, de un 58%.

9.4 Instalaciones en Calener GT

Las climatizadoras de aire primario necesitan un equipo que proporcione calor o frío a las baterías del sistema de climatización. En este apartado se definirán las instalaciones completas definidas en Calener GT en cada caso.

9.4.1 Bomba de calor con condensación por intercambiador aerotérmico.

En el caso de climatización mediante unidades exteriores con condensación por aire se definirá otra bomba de calor del mismo tipo que cubra estas nuevas demandas de calefacción y de refrigeración. La unidad seleccionada es la siguiente:

Unidad Exterior Cond. Aire: ARUB500LTE4	
Categoría	MULTI V IV Rec. Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	140.0
Capacidad de calefacción (kW)	157.5
Consumo de refrigeración (kW)	28.5
Consumo de calefacción (kW)	32.2
EER (adim)	4.92
COP (adim)	4.89



Imagen 39: Unidad exterior para climatización de aire

Para implementar este sistema en Calener GT, se han importado las curvas de funcionamiento de este equipo, y se ha definido una planta enfriadora con las características y curvas del mismo.



Seleccionar Planta enfriadora: **Planta enfriadora 1**

Características básicas | Conexiones a circuitos | Curvas comportamiento

Nombre: **Planta enfriadora 1**
 Tipo: **Bomba de calor 2T**

General

Capacidad nominal refrigeración: **140,00** kW
 Capacidad nominal calefacción: **157,50** kW
 EER (electricidad): **4,92**
 COP (electricidad): **4,89**
 EER (térmico): **n/a**
 Temperatura de consigna: **7,0** °C
 Tipo de combustible: **n/a**

Condensador

Tipo condensación: **Por aire**
 Fracción consumo térmico: **n/a** ratio

Imagen 40: Unidad exterior en Calener GT

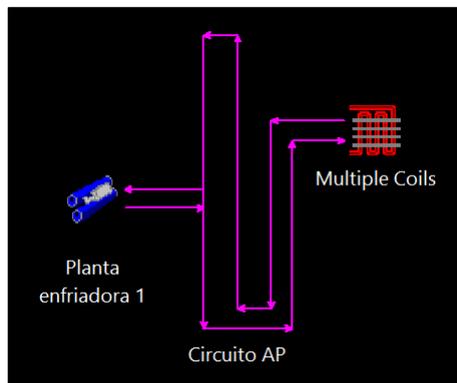


Imagen 41: Circuito de la climatizadora de aire primario

9.4.2 Bomba de calor con intercambiador geotérmico para la condensación

En el caso de climatización con bomba de calor y condensación por agua que circula a través de un intercambiador geotérmico, se definirá un equipo para la ventilación de las mismas características.

Unidad Exterior Cond. Agua: ARWN500LAS4	
Categoría	MULTI V IV Water Bomba de Calor
Capacidad de refrigeración (kW)	140.0
Capacidad de calefacción (kW)	157.5
Consumo de refrigeración (kW)	27.2
Consumo de calefacción (kW)	28.4
EER (adim)	5.15
COP (adim)	5.55
Salto temp. agua condensador (°C)	5.00

Imagen 42: Unidad exterior para la climatización de aire



9.4.2.1 *Diseño del intercambiador geotérmico para la climatizadora de aire primario*

El procedimiento a seguir en el cálculo de las características del intercambiador geotérmico que necesita el circuito de agua de condensación para el correcto funcionamiento de la unidad exterior seleccionada es el mismo que el expuesto en el punto 8.2.2.

El caso más desfavorable es el de la longitud de calefacción. Por lo tanto, para la máquina de las plantas P01 y P02 se necesitan 2681 metros de tubería de polietileno PE100 de dos pulgadas.

9.4.2.2 *Cálculo de la altura de la bomba*

Para calcular la altura de la bomba sumamos las pérdidas por fricción de los cuatro circuitos de agua. A la longitud calculada para el intercambiador geotérmico se le han sumado los metros que separan la azotea (lugar donde están ubicadas las máquinas) y el subsuelo a -5m.

Si la velocidad supere la cifra de 1m/s, se dividirá el caudal en tantos tramos como sea necesario para reducir la velocidad por debajo de este límite.

Circuito condensación	
Diámetro	0,0454 m
Longitud	2681 m
Área	0,0016 m ²
Caudal	28,8 m ³ /h
Nº circuitos	5
Velocidad	0,988 m/s
Re	44872
F	0,022
H_{L,tub}	63,84 m

Tabla 42: Altura de la bomba en el circuito de condensación

La bomba de este circuito deberá ser capaz de mover 28,8m³/h y de vencer una diferencia de alturas de 63,84m.

Imagen 43: Unidad exterior en Calener GT



En cuanto al circuito de agua de condensación, la bomba de calor definida sólo se puede conectar a un circuito de agua bruta, en el cual deben definirse tanto una alimentación de agua bruta como una bomba.

Sin embargo, este circuito es el que mejor se adapta, ya que de haber sido obligatorio el tener que definir un circuito de condensación, habría sido necesario definir también una torre de refrigeración y una caldera con consumo nulo, como ya se hizo en el apartado 8.2.

El consumo de la bomba del circuito de agua bruta representa la parte del consumo de la bomba que impulsa el agua de condensación necesaria para la bomba de calor por el colector geotérmico.

El circuito queda definido en Calener GT del siguiente modo:

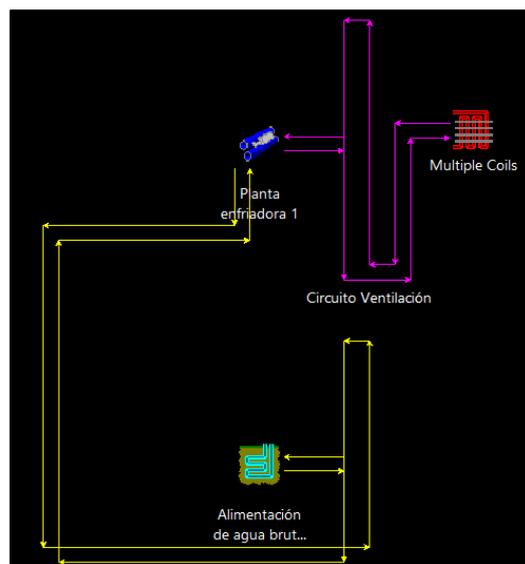


Imagen 44: Esquema del circuito de climatización de aire primario

9.4.3 Planta enfriadora por ciclo de absorción con caldera de biomasa.

En este caso, para cubrir la demanda de calefacción y refrigeración extra que necesita la climatizadora de aire primario, se ha optado por sobredimensionar la máquina de absorción y la caldera de biomasa, de tal forma que sean capaces de suministrar las demandas de climatización totales del edificio.

De este modo, las demandas de calefacción y refrigeración pasan a ser:

$$\text{Demanda de calefacción} = 156 + 49,8 = 205,8\text{kW}$$

$$\text{Demanda de refrigeración} = 85 + 103,7 = 188,7\text{kW}$$

9.4.3.1 Caldera de biomasa para producción de agua caliente

La caldera de biomasa que se ha elegido es la Kapelbi Hack 200 kW, con las siguientes características:



Kapelbi Hack		200	
Rango de potencias nominales (Astillas W25-S160)	kW	56,0 - 195,0	
Rango de potencias nominales con Pellet	kW	66,0 - 220,0	
Eficiencia con astillas de abeto a carga parcial/total *	%	94,3 / 92,7	
Eficiencia con Pellet de madera a carga parcial/total *	%	91,1 / 91,3	
Dimensiones de transporte AxExH	mm	1.106 x 2.100 x 2.020	
Anchura de transporte desmontando el recubrimiento	mm	865	
Peso con / sin alimentador y rotoválvula	kg	1.950 / 1.800	
Volumen de agua	Litros	448	
Resistencia al flujo de agua (ΔT=20°)	Pa / mWWS	1.700 / 0,170	
Capacidad de la caja de ceniza	Litros	2 x 80	
Flujo de gases a carga parcial/completa	g/s	43,5 / 138	
Contenido de CO ₂ en gases secos a carga parcial/completa	%	11,0 / 13,0	
Temperatura de humos a carga parcial/completa *	°C	80 / 140	
Tiro de chimenea		2 Pa a carga parcial / 5 Pa a carga completa necesario a partir de 15 Pa se necesita regulador de tiro	
Emisiones de monóxido de carbono (CO)			
Astillas carga parcial/completa*	mg/MJ	4 / 8	6 / 13
Pellet carga parcial/completa*	mg/m ³ 13%O ₂	3 / 2	4 / 3
Emisiones de partículas			
Astillas carga parcial/completa*	mg/MJ	4 / 10	6 / 14
Pellet carga parcial/completa*	mg/m ³ 13%O ₂	2 / 5	4 / 7
Emis. hidrocarburos inquemados (CxHy)			
Astillas carga parcial/completa*	mg/MJ	< 1 / < 1	< 1 / < 1
Pellet carga parcial/completa*	mg/m ³ 13%O ₂	< 1 / < 1	< 1 / < 1
Consumo eléctrico con astillas de abeto a carga parcial/completa *	W	195 / 535	
Consumo eléctrico con pellet a carga parcial/completa *	W	118 / 300	
Presión de trabajo máxima	3 bar	Clasificación de caldera clase 3 según EN 303-5 Combustibles probados Astillas G30/G50 hasta W35, ÖNORM M 7133, Pellets ÖNORM M 7135, DIN 51731 Conexión eléctrica 3 x 400 V / 50 Hz / 13 A	
Rango de ajuste de temperatura	30 - 85°C		
Temperatura de trabajo máxima permitida	95°C		
Temperatura mínima de retorno	60°C		
* Resultados obtenidos en pruebas por BLT Wieselburg, los informes de BLT Wieselburg están disponibles en Internet: blt_josephinum.at > Prüfberichte > Biomasse-Heizkesselprüfungen > Hackgutfeuerungen			

Imagen 45: Características de la caldera de biomasa

Alimentando esta caldera con combustible pellet, se consigue una potencia de 220kW con un rendimiento de 0,913.

9.4.3.2 Planta enfriadora

En cuanto a la máquina de absorción, se escoge el modelo LT-6 de Thermax, de la serie Cogenie, con una capacidad de refrigeración de 229kW, siendo éste el equipo que mejor se adapta a la carga térmica del edificio.

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MODELOS						
			LT-1	LT-2	LT-3	LT-5	LT-6	LT-8	
CAPACIDAD FRIGORÍFICA NOMINAL		TR	10	20	30	50	65	80	
		kW	35	70	105	176	229	281	
CIRCUITO AGUA REFRIGERADA	Caudal de agua	m ³ /h	5,5	11,0	16,5	27,5	35,7	44,0	
	Temperatura entrada/salida	°C	12,2 / 6,7						
	Pérdida de carga	kPa	66,7	57,9	31,4	43,1	31,4	40,2	
	Diámetro conexión	DN (")	40 (1½)		65 (2½)		80 (3)		100 (4)
	Nº de pasos (evaporador)		8		4				
CIRCUITO AGUA DE ENFRIAMIENTO (TORRE)	Caudal de agua	m ³ /h	10	20	30	50	67	85	
	Temperatura entrada	°C	29,4						
	Temperatura salida	°C	36,8	36,7	36,6	36,7	36,4	36,3	
	Pérdida de carga	kPa	11,8	29,4	39,2	40,2	50,0	53,9	
	Diámetro conexión	DN (")	50 (2)		80 (3)		125 (5)		
	Nº de pasos (absorbedor)		4						
CIRCUITO AGUA CALIENTE	Nº de pasos (condensador)		2						
	Caudal de agua	m ³ /h	7,8	15,7	23,2	39,8	51,3	63,1	
	Temperatura entrada/salida	°C	90,6/85						
	Pérdida de carga	kPa	11,8	19,6	31,4	31,4	30,4	29,4	
	Diámetro conexión	DN	40		65	80	100		
Nº de pasos (generador)		4							
DATOS ELÉCTRICOS	Bomba de solución	kW (A)	0,3 (1,1)		0,55 (1,7)		1,5 (5,0)		
	Bomba de refrigerante	kW (A)	0,3 (1,1)		0,55 (1,7)				
	Bomba de vacío	kW (A)	0,25 (1,3)						
	Consumo eléctrico total	kVA	2,2		2,83		5,2		
	Condiciones suministro		415V (±10%), 50 Hz (±5%), c.a. III + Neutro						

Imagen 46: Características de la planta enfriadora por ciclo de absorción



El intercambiador geotérmico deberá ser recalculado. En este caso, debe ser capaz de disipar el calor recogido por el agua de enfriamiento. El caudal de dicho agua es de 67 m³/h:

$$\dot{Q}_{cond} = \rho \cdot Q \cdot c_p \cdot \Delta T = 67 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{3600 \text{ s/h}} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ K}} \cdot (36,4 - 29,4) = 544,6 \text{ kW}$$

Los rendimientos térmico y eléctrico se calculan a partir de la información del catálogo:

- $EER(\text{electricidad}) = \frac{\dot{Q}_F}{E} = \frac{229 \text{ kW}}{5,2 \text{ kW}} = 44,03$
- $EER(\text{térmico}) = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_{GV}} = \frac{229 \text{ kW}}{51,3 \cdot \frac{1000}{3600} \cdot 4,18 \cdot (90,6 - 85) \text{ kW}} = \frac{229}{333} = 0,687$

En cuanto a la fracción consumo térmico, ésta especifica la fracción de la potencia térmica consumida por la planta que aparece en el condensador. Para las plantas de absorción alimentadas con agua caliente su valor es igual a 1.

En la siguiente tabla se resume la información de los tres circuitos de agua que circulan a través de la máquina:

	Calor intercambiado (kW)	Caudal (m ³ /h)	Salto de temperatura (°C)
Agua refrigerada	229	35,7	5,5
Agua de enfriamiento	544,6	67	7
Agua caliente	333	51,3	5,6

9.4.3.3 Dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado

Para la correcta disipación del calor absorbido en el condensador de la máquina de absorción se necesitan 1519 metros de tubería de polietileno PE100 de dos pulgadas, aplicando el procedimiento descrito en el punto 8.2.2.

9.4.3.4 Cálculo de la altura de la bomba del circuito de condensación

Para calcular la altura de la bomba, a los metros de tubería anteriormente calculados le sumamos la diferencia de cotas entre la azotea y el subsuelo, pues se considera que la máquina estará ubicada en la azotea. Para que el intercambio en el intercambiador geotérmico sea efectivo, la velocidad del fluido que circule por los tubos debe ser inferior a 1 m/s.

Circuito agua de refrigeración	
Diámetro	0,053 m
Longitud	1519 m
Área	0,0022 m ²
Caudal	67 m ³ /h
Velocidad	0,937 m/s
Nº circuitos	9
Re	49678
F	0,021
H_{L,tub}	27,16 m

Tabla 43: Altura de la bomba del agua de refrigeración

Repartiendo el caudal total en nueve circuitos, la altura que requiere la bomba es de 27,16 metros.



10. Agua caliente sanitaria

El Código Técnico de la Edificación en su documento DB HE 4 establece una contribución solar mínima de agua caliente sanitaria obligatoria en el edificio. No obstante, dicha contribución solar mínima para ACS podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, como puede ser una caldera de biomasa.

Inicialmente se planteó la posibilidad de emplear la misma tecnología elegida para el sistema de climatización para la producción de ACS, es decir:

1. Bomba de calor con condensación por aire, con producción y acumulación de agua caliente a 45°C para el sistema de climatización propuesto en 8.1.
2. Bomba de calor con condensación por agua, con producción y acumulación de agua caliente a 45°C para el sistema de climatización propuesto en 8.2.
3. Caldera de biomasa, con producción y acumulación de agua caliente a 60°C para el sistema de climatización propuesto en 8.3.

Sin embargo, el Real Decreto 861/2003, del 4 de julio, establece los siguientes puntos:

- Mantener la temperatura del agua, en el circuito de agua caliente, por encima de 50°C en el punto más alejado del circuito o en la tubería de retorno al acumulador.
- Cuando se utilice un sistema de aprovechamiento térmico en el que se disponga de un acumulador conteniendo agua que va a ser consumida y en el que no se asegure de forma continua una temperatura próxima a 60°C, se garantizará posteriormente, que se alcance una temperatura de 60°C en otro acumulador final antes de la distribución hacia el consumo.

Teniendo en cuenta lo establecido por el Real Decreto anterior, se consideró que empleando una bomba de calor para producción y acumulación de agua a 60°C el rendimiento obtenido sería muy bajo. Por este motivo, se decidió desechar esa alternativa y sustituirla por otra alternativa “convencional” como es el uso de una caldera de gas natural.

Otro punto a tener en cuenta es el de la obligatoriedad por parte del DB HE4 de la instalación de colectores solares para la producción de ACS en el caso de la caldera de gas. En el caso de la caldera de biomasa, al ser un combustible renovable, no será necesaria la contribución solar mencionada.

10.1 Características de la instalación de ACS

10.1.1 Caudales por aparatos

A continuación se procede al dimensionamiento de la instalación de ACS, para lo cual se ha seguido el procedimiento establecido en la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central, del IDAE.

Los únicos aparatos con demanda de ACS en el edificio son los lavabos de los aseos. Considerando que hay tres lavabos por aseo y que en cada planta hay dos aseos, en total hay 30 lavabos.



El caudal que se debe asegurar en cada aparato está fijado en el DB HS 4 “Instalaciones de Salubridad: Suministro de agua”.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 44: Caudal instantáneo por aparatos - DB HE4

Con el valor anterior, se obtiene el caudal total que puede circular a través de los lavabos instalados en el edificio:

$$Q_T = 30 \cdot 0,065 = 1,95 \text{ l/s}$$

10.1.2 Caudal instantáneo

El caudal instantáneo se obtiene como la suma de los caudales de todos los aparatos del edificio, aplicando un coeficiente de simultaneidad de uso, ya que no todos los aparatos del edificio se usan al mismo tiempo.

Estos coeficientes de simultaneidad se obtienen de la Norma UNE 149.201/07, en la cual los caudales instantáneos se tienen con la siguiente expresión:

$$Q_C = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Dónde:

- Q_C : Caudal simultáneo de cálculo (l/s).
- Q_T : Caudal total, suma de todos los aparatos del edificio (l/s).
- A , B y C : Coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales totales del edificio y de los caudales máximos por aparatos.

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q_u	Q_T	A	B	C
Escuelas, polideportivos	Sin Límite	$\leq 1,5$	1,000	1,000	0,000
		≤ 20	4,400	0,270	-3,410
		> 20	-22,500	-0,500	11,500

Imagen 47: Coeficientes de simultaneidad - UNE 149.201/07



$$Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C = 4,4 \cdot (1,95^{0,27}) - 3,41 = 1,859 \text{ l/s}$$

10.1.3 Consumo de ACS

Para determinar el consumo de ACS se aplica el documento HE 4 del CTE, en el que aparecen los consumos diarios de ACS a 60 °C, en función del tipo de edificio.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Escuela sin ducha	4	Por persona

Imagen 48: Demanda de ACS - DB HE4

La temperatura de referencia de 60 °C se corresponde con la de acumulación del ACS para prevención de la legionelosis y será la mínima habitual en los sistemas centralizados.

El número de alumnos matriculados en la escuela ETSAE en el curso 2014-2015 es de 820 alumnos. Teniendo en cuenta el profesorado y el personal que pueda utilizar los aseos a lo largo del día, la demanda se calculará en base a 1000 personas.

$$D_{60^\circ\text{C}} = 4 \cdot 1000 = 4000 \text{ l/día a } 60^\circ\text{C}$$

10.2 Sistemas de producción de ACS con acumulación de agua

Se denominan sistemas de acumulación a aquellos cuyo volumen de acumulación cubre la demanda de la hora punta. En nuestro caso, dado que la instalación consta únicamente de lavabos, se optará por un sistema de semiacumulación, capaz de cubrir el 50% de la demanda en la hora punta.

La energía útil que proporcione el sistema debe ser capaz de cubrir la demanda en la punta que es:

$$E_{HP} (Wh) = Q_{punta} (l) \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) (^\circ\text{C}) \cdot 1,16 (Wh/l^\circ\text{C})$$

Siendo:

- Q_{punta} : Consumo de ACS en la hora punta
- T_{ACS} : Temperatura de utilización del ACS. Esta temperatura dependerá del sistema de producción de ACS que se considere. En los sistemas de caldera propuestos (gas y biomasa), se considerará que la temperatura será de 60°C.
- T_{AFCH} : Temperatura del agua de red. Esta temperatura es función de la localización del edificio.

Ciudad	Temperatura del agua de la red (°C)												Media Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15

Imagen 49: Temperatura del agua de red en Murcia

Se toma como valor de T_{AFCH} el más desfavorable, que es el de los meses de invierno, 11°C.



La energía proporcionada por el sistema es la suma de la que aporta la producción (intercambiador) más la almacenada en los depósitos de acumulación.

La energía que aporta la producción, referida a 1 hora, resulta:

$$E_{producción}(Wh) = P_{producción}(W) \cdot 1h \cdot \eta_{prod ACS}$$

Donde:

- $P_{producción}$: Potencia útil del sistema de producción de ACS
- $\eta_{prod ACS}$: Rendimiento del sistema de producción de ACS (incluye las pérdidas por intercambio, acumulación, distribución y recirculación), y se estima de 75% caldera de gas y 70% para caldera de biomasa.

La energía acumulada en los depósitos, que puede ser utilizada durante la punta de consumo es:

$$E_{acumulación}(Wh) = V_{acum}(l) \cdot (T_{acum} - T_{AFCH}) (°C) \cdot 1,16 (Wh/l°C) \cdot F_{uso acum}$$

Donde:

- V_{acum} : Volumen total de los depósitos (acumulación o interacumuladores).
- T_{acum} : Temperatura de acumulación del agua, puede ser igual o superior a la de uso (T_{ACS}).
- $F_{uso acum}$: Es el factor de uso del volumen acumulado, depende de la geometría (esbeltez) y del número de depósitos de acumulación, ya que en el interior de los mismos existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente, en la cual la temperatura resulta inferior a la de uso, por lo que dicho volumen no puede ser utilizado.

$$F_{uso acum} = 0,63 + 0,14 \cdot H/D$$

Donde H y D representan la altura y diámetro del depósito, respectivamente.

Para dimensionar la instalación de producción de ACS debe considerarse que la energía aportada (producción más acumulación) ha de igualar a la consumida en la punta; por ello si los volúmenes de acumulación son menores las potencias deberán ser mayores (sistemas de semiacumulación, o semiinstantáneos) y si los volúmenes de acumulación son mayores las potencias podrán ser inferiores (sistemas de acumulación).

La potencia a instalar resulta:

$$P_{caldersa} = [Q_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acum}(l) \cdot (T_{acum} - T_{AFCH}) \cdot F_{uso acum}] \cdot 1,16 / \eta_{prod ACS}$$

Se tiene una ecuación con tres incógnitas: el caudal durante la punta, el volumen de acumulación y la potencia a instalar; la potencia será mayor cuanto mayor sea el consumo en punta y cuanto menor sea el volumen de acumulación.



El problema fundamental es conocer el caudal punta, tanto en valor como en duración de la misma, para lo cual no existen datos oficiales publicados ni normas establecidas. Por ello, se considerará como hipótesis conservadora que el consumo en la hora punta será el 25% del consumo de ACS diario:

$$Q_{punta,60^{\circ}\text{C}} = 0,25 \cdot 4000 = 1000 \text{ l/día a } 60^{\circ}\text{C}$$

A continuación se van a exponer de manera detallada los tres métodos de producción de agua caliente mencionados anteriormente.

10.2.1 Producción de ACS a 60°C con caldera de gas natural

Las calderas convencionales de gas natural son equipos en los que el aporte de calor proviene de la combustión de gas natural. Este aporte de calor se aprovecha para calentar un agua. Estos equipos alcanzan rendimientos muy elevados.

La capacidad de acumulación se considera un 50% del consumo en la punta:

$$Q_{acum} = 0,50 \cdot Q_{punta} = 0,50 \cdot 1000 = 500 \text{ l}$$

Se toma un depósito de 500 l, de 770 mm de diámetro y 1690 mm de altura:

$$F_{uso acum} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{H}{D} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{1690}{770} = 0,937 \text{ (93,7\%)}$$

Considerando una temperatura de acumulación de 60°C, la potencia a instalar resulta:

$$P_{ACS} = [Q_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acum} \cdot (T_{acum} - T_{AFCH}) \cdot F_{uso acum}] \cdot 1,16 / \eta_{prod ACS} \\ = [1000 \cdot (60 - 11) - 500 \cdot (60 - 11) \cdot 0,937] \cdot 1,16 / 0,75 = 40,3 \text{ kW}$$

Para definir el circuito de ACS en Calener GT, es necesario conocer la temperatura del agua de red, que en Murcia toma los siguientes valores:

Ciudad	Temperatura del agua de la red (°C)											Media Anual	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov		Dic
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15

Imagen 50: Temperatura del agua de red en Murcia

Como valor de temperatura del agua de red, se pone el valor medio anual en Murcia, 15°C.

Es necesario definir el tipo de circuito de ACS que se desea en el edificio. Hay dos opciones, que son las siguientes:

- El circuito de ACS es un circuito sin bomba, donde el agua circula a través de todo el sistema gracias a la presión de red. El inconveniente de este método se da en que al abrir el grifo hay que esperar primero a que salga el agua fría de las tuberías antes de tener agua caliente en él.
- El circuito de ACS tiene una bomba de recirculación que mantiene en todo momento el agua caliente circulando a través de todo el edificio, de forma que al abrir un grifo sale agua caliente de inmediato. Esta configuración mejora el confort, pero aumenta el



consumo energético, tanto por el consumo de la propia bomba como por las pérdidas a través de las tuberías de agua caliente del edificio que están todo el día (o en el horario que tenga programado la bomba) llenas de agua caliente en circulación. Eso sí, disminuye el consumo de agua, pues no hay que dejar correr al agua hasta esperar que salga caliente.

Se ha optado por la primera opción por ser la más eficiente energéticamente.

La caldera de gas natural seleccionada capaz de dar suministro de ACS al edificio es la siguiente:



Características		ATILA 40 N
Rendimiento PCI,	100 % Potencia nominal, Tª media: 60 °C	%
Rendimiento en carga y temperatura del agua	30 % Potencia nominal, Tª media: 50 °C	%
		94,63
		88,04

Imagen 51: Características caldera de gas para producción de ACS

El rendimiento de este equipo es de un 94,63% a una temperatura de 60°C.

Seleccionar Generador ACS: Caldera GN ACS

Características básicas | Varios | Curvas comportamiento

Nombre: Caldera GN ACS

Tipo: Caldera de combustible

Acumulación: Con depósito de acumulación

General

Potencia nominal: 40,00 kW

Temperatura de consigna: 60,0

Rendimiento térmico: 0,95

Rendimiento eléctrico: n/a

Tipo combustible: Gas Natural

Acumulación

Volumen depósito: 500,0 l

Pérdidas térmicas depósito: 21,0 W/K

Imagen 52: Caldera de gas natural en Calener GT



Los resultados obtenidos con Calener GT para esta instalación son:

Consumo de Energía Final (kWh)			
	Electricidad	Gas Natural	Biomasa
ACS	0,0	73800,8	0,0

Tabla 45: Consumo energético de la instalación de ACS

10.2.2 Producción de ACS a 60°C con caldera de biomasa

Únicamente cambia el rendimiento de la producción de ACS con respecto a la producción con caldera de gas natural, que se considera algo menor por el rendimiento más bajo de los quemadores de biomasa.

$$P_{ACS} = [Q_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acum} \cdot (T_{acum} - T_{AFCH}) \cdot F_{uso\ acum}] \cdot 1,16 / \eta_{prod\ ACS}$$

$$= [1000 \cdot (60 - 11) - 500 \cdot (60 - 11) \cdot 0,937] \cdot 1,16 / 0,70 = 43,2\ kW$$

En cuanto a la caldera utilizada, es una caldera en las que el combustible es una energía renovable, biomasa, que está compuesta por materia orgánica de origen animal y vegetal. Uno de los combustibles más utilizados son los pellets, que son pequeños cilindros compuestos de serrín, virutas, astillas molidas y demás residuos, todos ellos comprimidos.

La caldera seleccionada es la siguiente:

Modelo	Cod.	Potencia útil*		Consumo	Rendimiento	Volumen agua	Peso	P.V.P.
		kW	kcal/h					
BIOMASTER 45 (Sólo caldera)	2642	45	38.700	2,8 - 9,4	>90%	155	450	9.500

Imagen 53: Características de la caldera de biomasa para ACS

Esta caldera tiene un rendimiento de un 90%. Se introducen los datos de la caldera en Calener GT:

Imagen 54: Caldera de biomasa en Calener GT



El consumo de energía final destinado a la producción de ACS con este sistema es:

Consumo de Energía Final (kWh)			
	Electricidad	Gas Natural	Biomasa
ACS	0,0	0,0	79062,2

Tabla 46: Consumo energético de la instalación de ACS

10.3 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

El CTE DB HE4 establece como contribución solar mínima anual la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS.

La siguiente tabla muestra la contribución solar mínima anual para ACS en función de la demanda total del edificio.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	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	50	60	70	70

Imagen 55: Contribución solar mínima para ACS - DB HE4

En el caso de generación de ACS mediante una caldera de gas, la demanda de ACS es de 4000l/día, por lo que la contribución solar mínima ha de ser de un 40%.

Antes de proseguir con el estudio de la energía solar térmica, es necesario realizar un estudio de sombras sobre la cubierta del edificio para ver que las pérdidas por sombras de elementos externos no muy elevadas, ya que este edificio se encuentra al amparo de dos edificios de 27 y 30 metros de altitud que podrían considerar pérdidas por sombraje considerables.

Este estudio se encuentra en el anexo IV, y en él se ha calculado la zona de la cubierta donde estas pérdidas son insignificantes (mitad norte del edificio).

A continuación se realizará el dimensionado para la instalación de energía solar térmica.

10.3.1 Protección contra sobrecalentamientos

La instalación se dimensionará garantizando que en ningún mes del año la energía producida sea superior al 110% de la demanda energética y durante tres meses sea superior al 100%. En caso de que ello ocurra, se dimensionarán disipadores térmicos (aerotermos).

10.3.2 Pérdidas por sombras

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla siguiente:



Tabla 2.3 Pérdidas límite

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

Imagen 56: Pérdidas límite en una instalación solar térmica - DB HE4

Estas pérdidas se demuestran en el anexo IV que tienen un valor de 0,7%, por lo que se cumple con la normativa HE4.

10.3.3 Orientación e inclinación óptima de los paneles solares

Se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima depende del periodo de utilización. Cuando la demanda se produce preferentemente en invierno, la inclinación óptima es la latitud geográfica -10º, es decir, 27,6º.

10.3.4 Instalación de energía solar térmica para ACS como complemento a la caldera de gas

Para calcular la superficie de captación necesaria se empleará la siguiente fórmula:

$$S_{CAPT} = \frac{E_{SOLAR}}{\eta_{INST} \cdot \eta_{COL} \cdot E_{RAD-PH} \cdot K}$$

Donde:

- E_{SOLAR} : energía que debe producir la instalación solar. En el caso de apoyo a la caldera de gas, se trata de un 40% de la energía total, que es:

$$E_{SOLAR} = 0,4 \cdot 0,75 \cdot 40300W \cdot 1h = 12090Wh$$

- η_{INST} : rendimiento de la instalación de acumulación-intercambio. Se considerará un valor aproximado de 0,85.
- η_{COL} : rendimiento de los colectores solares.

$$\eta_{COL} = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(T_m - T_a)}{G}$$

Siendo:

- η_0 : coeficiente de eficiencia del colector.
- k_1 : coeficiente de pérdidas del colector.
- T_m : temperatura media del agua entre la entrada y la salida.
- T_a : temperatura del aire.

Los dos primeros valores se obtienen directamente del catálogo:

EFICIENCIA	
Rendimiento (η_0)	0,795 %
K1 (W/m^2k)	3,543

Imagen 57: Eficiencia y rendimiento de los colectores solares



En cuanto a la relación $(T_m - T_a)/G$, podemos estimar su valor a partir del siguiente gráfico, obtenido del catálogo:

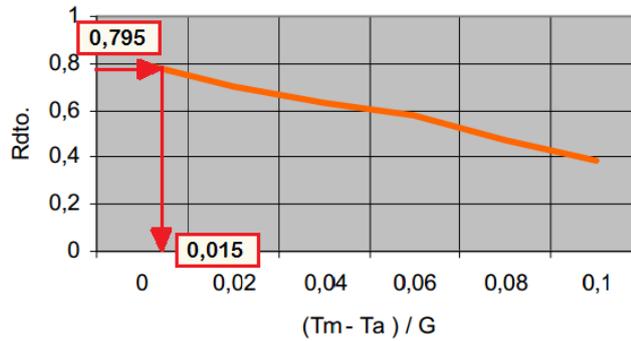


Imagen 58: Curva de rendimiento instantáneo en función de T_m

$$\eta_{COL} = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(T_m - T_a)}{G} = 0,795 - 3,543 \cdot 0,015 = 0,742$$

- E_{RAD-PH} : radiación media anual por m^2 de superficie en un plano horizontal. Este valor se puede consultar en el Atlas de Radiación Solar y Temperatura Ambiente de la Región de Murcia.

	Wh/m ² *dia	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
Cartagena	MEDIA	2426,99	3319,41	4516,79	5712,96	6636,26	6965,24	6639,59
	MAXIMA	4743,16	5433,34	5993,53	6510,53	7074,76	7306,1	6929,88
	MINIMA	583,46	803,324	1553,32	3135,26	4740,36	5489,53	5017,76
	Wh/m ² *dia	AGOSTO	SEPT	OCTUBRE	NOV	DIC	ANUAL	
Cartagena	MEDIA	5714,6	4472,1	3247,36	2358,34	2057,23	4505,57	
	MAXIMA	6119,66	5293,86	4655,1	4180,74	4218,14	5448,38	
	MINIMA	3558,65	1920,39	880,918	578,596	472,649	2401,89	

Imagen 59: Radiación mensual y anual en Cartagena

- K: coeficiente de corrección que relaciona la radiación en un plano horizontal con la radiación que habría en el plano inclinado en el que se han instalado los colectores. Este valor también se puede consultar en Atlas de Radiación Solar y Temperatura Ambiente de la Región de Murcia:

Factor de corrección para superficie inclinada en Cartagena												
Inclinación superficie	E	F	M	A	M	J	JI	A	S	O	N	D
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10°	1.22	1.16	1.09	1.03	1.00	0.99	0.99	1.02	1.06	1.13	1.20	1.25
20°	1.42	1.29	1.15	1.05	0.98	0.95	0.97	1.02	1.11	1.23	1.37	1.46
30°	1.58	1.38	1.19	1.04	0.94	0.91	0.92	1.00	1.12	1.30	1.51	1.64
40°	1.70	1.45	1.20	1.00	0.89	0.84	0.86	0.95	1.11	1.34	1.61	1.78
50°	1.78	1.48	1.18	0.95	0.81	0.76	0.78	0.89	1.08	1.35	1.67	1.87
60°	1.81	1.47	1.13	0.87	0.73	0.67	0.70	0.81	1.02	1.33	1.69	1.92
70°	1.79	1.43	1.06	0.78	0.63	0.57	0.60	0.71	0.94	1.28	1.66	1.91
80°	1.73	1.35	0.96	0.68	0.52	0.47	0.49	0.61	0.84	1.19	1.60	1.86
90°	1.63	1.24	0.84	0.56	0.42	0.37	0.39	0.49	0.72	1.08	1.49	1.76

Imagen 60: Factor de corrección para superficie inclinada en Cartagena



Como criterio conservador, se utilizarán los factores de corrección para una superficie inclinada de 30°.

A continuación se establecen los valores obtenidos para cada mes:

	Enero	Febrer o	Marzo	Abril	Mayo	Junio
E_{SOLAR} (Wh)	12090	12090	12090	12090	12090	12090
η_{inst}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
η_{col}	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742
$E_{\text{rad PH}}$ (Wh/m ² día)	2426,9	3319,4	4516,79	5716,79	6636,26	6965,24
Factor de corrección para superficies inclinadas 30° en Cartagena	1,58	1,38	1,19	1,04	0,94	0,91
S_{cap} (m ²)	5,00	4,18	3,57	3,22	3,07	3,02
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
E_{SOLAR} (Wh)	12090	12090	12090	12090	12090	12090
η_{inst}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
η_{col}	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742
$E_{\text{rad PH}}$ (Wh/m ² día)	6639,6	5714,6	4472,1	3247,36	2358,34	2057,23
Factor de corrección para superficies inclinadas 30° en Cartagena	0,92	1	1,12	1,3	1,51	1,64
S_{cap} (m ²)	3,14	3,35	3,83	4,54	5,38	5,68

Tabla 47: Superficie de captación necesaria

El caso más desfavorable es el del mes de diciembre, donde se necesitan 5,68 m² de superficie útil de colectores solares.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
	2.0 S	2.5 S	2.85 S
DIMENSIONES			
Longitud (mm)	1.902	2.240	2.241
Anchura (mm)	1.063	1.120	1.274
Altura (mm)	99	99	99
Peso (kg)	38	49	58
SUPERFICIE			
Área total (m ²)	2,00	2,51	2,85
Área de apertura (m ²)	1,851	2,31	2,64
Área del absorbedor (m ²)	1,84	2,31	2,64
CUBIERTA			
Material	Vidrio solar endurecido		
Transmisividad	0,905		
Espesor (mm)	4		
FUNCIONAMIENTO			
Montaje	Vertical		
Caudal recomendado (l/h x m ²)	25		
Conexión en línea	Máximo 7 captadores (recomendado 5)		

Imagen 61: Características de los colectores solares

De los colectores más pequeños (2.0 S) se necesitarían 3,17 colectores. Se opta por conectar cuatro captadores solares, siendo la superficie de captación:

$$S_{\text{cap}} = 4 \cdot 1,84 = 7,36\text{m}^2$$

A continuación se comprobará que la energía captada no supere el 110% de la demanda energética (33247,5 Wh) ni que durante tres meses sea superior al 100% (30225 Wh).



	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
S_{cap} (m ²)	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36
η_{inst}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
η_{col}	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742
$E_{rad\ PH}$ (Wh/m ² día)	2426,99	3319,41	4516,79	5716,79	6636,26	6965,24
Factor de corrección para superficies inclinadas 30º en Cartagena	1,58	1,38	1,19	1,04	0,94	0,91
E_{SOLAR} (Wh)	17800	21264	24950	27599	28957	29422
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
S_{cap} (m ²)	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36
η_{inst}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
η_{col}	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742	0,742
$E_{rad\ PH}$ (Wh/m ² día)	6639,59	5714,6	4472,1	3247,36	2358,34	2057,23
Factor de corrección para superficies inclinadas 30º en Cartagena	0,92	1	1,12	1,3	1,51	1,64
E_{SOLAR} (Wh)	28355	26527	23250	19596	16530	15661

Tabla 48: Comprobación de la limitación de la energía solar térmica acumulada

Como no se da ninguna de las dos circunstancias anteriormente descritas, damos por correcta la instalación propuesta.

11. Contribución fotovoltaica de energía eléctrica

Aunque según el DB HE 5 no es obligatoria la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica a partir de energía solar en un edificio de estas características, es una opción interesante en un edificio que se pretende que sea de alta eficiencia energética.

No obstante, antes de estimar cual sería la producción de energía eléctrica, se realizará un estudio de sombras en la cubierta del edificio con el fin de asegurarse que las pérdidas por sombras debidas a los edificios situados al sur de la ETSAE sean demasiado elevadas.

Dicho estudio se encuentra en el anexo IV de este documento.

11.1 Cálculo de la potencia mínima a instalar

Dada la disposición del edificio propuesto, la cubierta plana parece la configuración que mejor se ajusta a él. Además, las cubiertas planas tienen la ventaja de poderlas situar en la orientación e inclinación más favorable, independientemente de la orientación del edificio.

Para calcular la potencia mínima a instalar se seguirá el procedimiento establecido por el DB HE5.

A modo orientativo, se obtendrá un valor de potencia mínima a instalar partiendo de la expresión 2.1 del DB HE5:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$



Siendo

- P : Potencia nominal a instalar (kW)
- C : Coeficiente definido en la tabla 2.1 en función de la zona climática establecida.
- S : Superficie construida del edificio (m²)

Tabla 2.1 Coeficiente climático

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

Imagen 62: Coeficiente climático en función de la zona climática

Como Cartagena se encuentra en la zona III y el edificio tiene una superficie de 9001 m², la potencia mínima a instalar es:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5) = 1,2 \cdot (0,002 \cdot 9001 - 5) = 15,6 \text{ kW}$$

Se ha seleccionado el modelo A-310 del fabricante Atersa, con las siguientes características:

Características eléctricas (STC: 1kW/m ² , 25°C±2°C y AM 1,5)*	
A-310M	
Potencia Nominal (0/+5 W)	310 W
Eficiencia del módulo	15,94%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,40 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	36,91 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,92 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	45,15 V
Parámetros térmicos	
Coeficiente de Temperatura de Isc (α)	0,03% /°C
Coeficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,34% /°C
Coeficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C
Características físicas	
Dimensiones (mm ± 2 mm)	1965x990x40
Peso (kg)	24
Área (m ²)	1,95
Tipo de célula	Monocristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 4 mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	Cable Solar 4 mm ² 1250 mm
Conectores	MC4 o combinable MC4
Rango de funcionamiento	
Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m ²)
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Imagen 63: Características de los paneles fotovoltaicos



11.2 Separación mínima entre paneles

La separación entre filas de módulos fotovoltaicos se establece de tal forma que al mediodía solar más desfavorable (altura solar mínima) del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior de la fila siguiente, tal y como se observa en la siguiente figura:

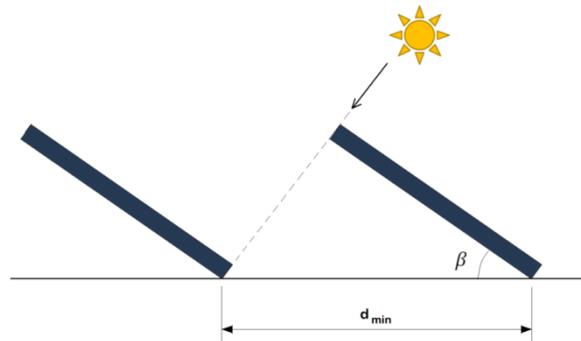


Imagen 64: Separación mínima entre paneles

En instalaciones que se utilicen todo el año, el día más desfavorable corresponde, como ya se ha mencionado, al 21 de diciembre. La distancia mínima entre paneles queda:

Latitud	37,60
Día juliano	355
Declinación, δ	-23,45
ho	28,95
Inclinación paneles, β	35,00
Longitud del panel, L (m)	1,97
d_{min} (m)	3,65

11.3 Configuración de la instalación fotovoltaica

En total se pondrán un total de 60 paneles, distribuidos en cuatro filas y quince columnas:

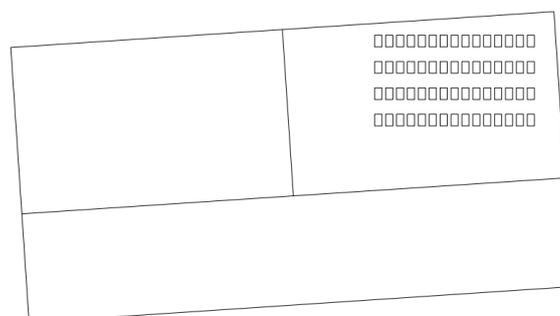


Imagen 65: Distribución de los paneles fotovoltaicos

Se ha respetado la distancia mínima entre paneles calculada anteriormente, de 3,65 metros.



11.4 Estimación de la energía eléctrica producida

Con la configuración anterior se han colocado un total de 60 módulos fotovoltaicos, los cuales son capaces de generar una potencia eléctrica de 18,6kW.

Para estimar la producción de la instalación fotovoltaica se considerarán los ratios de producción por zonas climáticas que aparecen en la tabla 2.2 del CTE DB HE5, en kWh/kW:

Tabla 2.2 Ratios de producción por zona climática

	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Horas equivalentes de referencia anuales (kWh/kW)	1.232	1.362	1.492	1.632	1.753

Imagen 66: Estimación de la energía eléctrica producida en función de la demanda

$$\text{Energía eléctrica anual producida} = 1492 \cdot 18,6 = 27751 \text{ kWh}$$



12. Resultados obtenidos

12.1 Bomba de calor con condensación por aerotermia y caldera de gas natural.

Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio

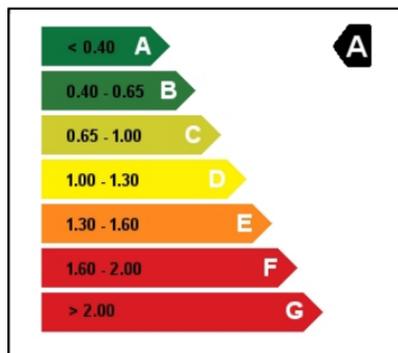
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calif. (kW·h/m ²)	14.7	30.8	0.48	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	47.5	62.8	0.76	C
Energía Primaria (kW·h/m ²)	48.8	318.3	0.15	A

Emisiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	4.4	61.9	0.07	A
Emisiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	1.7	2.4	0.69	C
Emisiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	5.7	17.0	0.33	A
Emisiones Tot. (kg CO₂/m²)	11.8	81.3	0.14	A

Nota: Los valores han sido obtenidas utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	225123.2	1691111.6
Energía Final (kWh/(m ² año))	25.0	187.9
En. Primaria (kWh/año)	439412.3	2863993.3
En. Primaria (kWh/(m ² año))	48.8	318.3
Emisiones (kg CO₂/año)	106010.9	731733.0
Emisiones (kg CO₂/(m²año))	11.8	81.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

Consumo de electricidad

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7389,0	6746,4	7434,8	6746,4	7411,9	7102,1	7411,9	7411,9	6769,3	7411,9	7079,2	6413,7	85328,5
Refrigeración	0,0	7,0	67,1	521,3	1741,8	3636,8	6642,5	2888,9	4685,6	2091,9	174,5	0,0	22457,3
Bombas y Auxiliares	114,1	103,7	114,1	103,7	114,1	108,9	114,1	114,1	103,7	114,1	108,9	98,5	1312,2
Ventiladores	2442,7	2109,4	2295,2	2233,3	2441,7	2602,7	2827,7	2672,1	2654,8	2483,6	2207,4	2414,5	29385,1
Calefacción	3708,4	2285,7	1760,9	721,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	37,7	1214,9	3122,2	12857,6
TOTAL	13654,2	11252,2	11672,1	10325,9	11716,1	13450,4	16996,2	13087,0	14213,5	12139,2	10784,9	12048,9	151340,7

Consumo de gas natural

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
ACS	6797,6	6309,0	7003,6	6356,5	6806,0	6599,0	6699,3	1255,8	6355,4	6791,2	6593,3	6234,1	73800,8
TOTAL	6797,6	6309,0	7003,6	6356,5	6806,0	6599,0	6699,3	1255,8	6355,4	6791,2	6593,3	6234,1	73800,8



12.2 Bomba de calor con condensación por geotermia y caldera de biomasa.

12.2.1 Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio

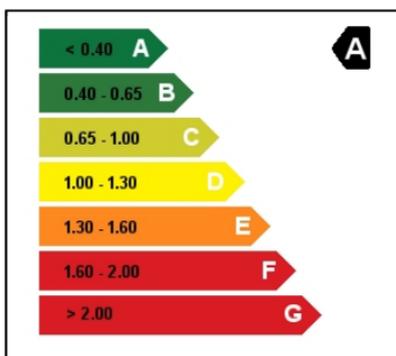
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	14.7	30.7	0.48	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	47.8	63.3	0.76	C
Energía Primaria (kW·h/m ²)	80.9	326.4	0.25	A

Emissiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	12.1	61.9	0.20	A
Emissiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	4.0	0.00	A
Emissiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	5.9	17.4	0.34	A
Emissiones Tot. (kg CO₂/m²)	18.0	83.3	0.22	A

Nota: Los valores han sido obtenidas utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	343387.0	1718457.9
Energía Final (kWh/(m ² año))	38.2	191.0
En. Primaria (kWh/año)	728030.7	2937350.0
En. Primaria (kWh/(m ² año))	80.9	326.4
Emissiones (kg CO₂/año)	161810.5	749997.9
Emissiones (kg CO₂/(m²año))	18.0	83.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

12.2.2 Consumo de electricidad

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7479,6	6829,1	7526,0	6829,1	7502,8	7189,1	7502,8	7502,8	6852,3	7502,8	7166,0	6492,3	86374,7
Refrigeración	0,0	7,4	75,2	671,7	1895,2	3474,4	5562,0	3030,2	4178,4	2479,9	178,4	0,0	21552,8
Sistema de condensación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	8428,8	7596,2	8297,8	8066,1	8498,1	8274,1	8757,3	8752,7	8240,8	8643,9	7930,7	8162,5	99649,1
Ventiladores	2452,1	2111,7	2302,4	2247,5	2463,2	2640,0	2897,7	2665,9	2699,3	2499,5	2216,6	2419,1	29614,8
Calefacción	6933,2	4806,9	4043,3	2097,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	105,5	3273,0	5888,7	27153,0
TOTAL	25293,7	21351,2	22244,7	19911,4	20364,6	21577,7	24719,8	21951,6	21970,9	21231,6	20764,6	22962,7	264344,3

12.2.3 Consumo de biomasa

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
ACS	7274,6	6749,6	7492,5	6805,5	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7268,1	7055,9	6678,8	79062,2
TOTAL	7274,6	6749,6	7492,5	6805,5	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7268,1	7055,9	6678,8	79062,2



12.3 Planta de absorción con caldera de biomasa

12.3.1 Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio

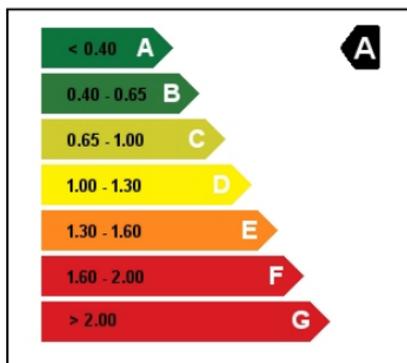
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	14.7	30.7	0.48	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	47.8	63.3	0.76	C
Energía Primaria (kW·h/m ²)	82.1	326.4	0.25	A

Emisiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	4.3	61.9	0.07	A
Emisiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	4.0	0.00	A
Emisiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	5.8	17.4	0.33	A
Emisiones Tot. (kg CO₂/m²)	10.1	83.3	0.12	A

Nota: Los valores han sido obtenidos utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	526341.7	1718457.9
Energía Final (kWh/(m ² año))	58.5	191.0
En. Primaria (kWh/año)	739103.3	2937350.0
En. Primaria (kWh/(m ² año))	82.1	326.4
Emisiones (kg CO₂/año)	90661.2	749997.9
Emisiones (kg CO₂/(m²año))	10.1	83.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

12.3.2 Consumo de electricidad

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7479,6	6829,1	7526,0	6829,1	7502,8	7189,1	7502,8	7502,8	6852,3	7502,8	7166,0	6492,3	86374,7
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	415,3	1327,6	1601,6	1684,1	1679,0	1527,8	1485,9	0,0	0,0	9721,3
Sistema de condensación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	342,9	311,7	342,9	1198,4	2265,8	2261,7	2370,8	2369,6	2155,2	2249,1	327,3	296,1	16491,5
Ventiladores	3223,3	2911,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	37951,4
Calefacción	68,7	57,8	56,9	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	52,2	57,9	322,7
TOTAL	11114,5	10110,0	11149,0	11589,2	14319,5	14171,7	14780,9	14774,7	13654,6	14463,3	10664,7	10069,6	150861,6

12.3.3 Consumo de biomasa

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	8056,3	25109,9	34101,3	42199,4	36951,4	35396,8	29651,1	0,0	0,0	211466,2
Calefacción	21891,1	14695,0	12617,2	7370,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	500,3	11410,7	16487,0	84971,2
ACS	7274,6	6749,6	7492,5	6805,5	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7268,1	7055,9	6678,8	79062,2
TOTAL	29165,6	21444,6	20109,7	22231,8	32393,6	41163,4	49370,5	38367,3	42201,3	37419,4	18466,6	23165,9	375499,6



13. Análisis de los resultados - Modelos de climatización adicionales

Con estos resultados, parece evidente que poner una instalación geotérmica para la disipación de calor no es una buena opción, ya que incrementa notoriamente el consumo eléctrico debido a las bombas de la circulación de agua a través del terreno.

Además, hay que tener en cuenta el precio de este tipo de instalaciones. El captador geotérmico horizontal empleado está formado por tubo de polietileno PE 100, de 50 mm de diámetro exterior y 4,6 mm de espesor, y descansa sobre una cama de arena de 0 a 5 mm de diámetro y posterior relleno con el mismo material, aumentando el espesor total de la capa a 20 cm. En el caso de bomba de calor con un intercambiador geotérmico, se necesitan un total de 16.252 metros de colector, y en el caso de la máquina de absorción 13.671 metros.

El precio de la sonda geotérmica ronda los 8,8 € el metro, con lo que únicamente las sondas pueden aumentar el precio de la instalación más de 100.000€.

Por este motivo, se han desechado las opciones de climatización bomba de calor y máquina de absorción con condensación por un intercambiador geotérmico.

Sin embargo, la biomasa sí que parece una opción rentable, ya que es una fuente de energía barata y las calderas de este combustible tienen rendimientos bastante elevados. Empleando biomasa en lugar de gas natural en la producción de ACS se pueden reducir las emisiones de CO₂ del edificio en 1,7 toneladas anuales.

13.1 Opción adicional 1 - Absorción con aerotermia y gas natural

A la vista de estos resultados, se puede decir que la opción de una instalación de absorción con biomasa parece una alternativa, siempre y cuando el agua de condensación no pase a través de un colector geotérmico horizontal.

Por este motivo, se ha decidido probar una bomba de calor por ciclo de absorción de alta eficiencia accionada a llama directa con recuperación aerotérmica para aplicaciones de producción de frío. Los inconvenientes de este tipo de equipos son que tienen potencias de enfriamiento reducidas y que únicamente se encuentran en el mercado equipos de llama directa con quemadores de gas (natural o GLP).

La potencia frigorífica de uno de estos equipos es de 16,9 kW. Para vencer la demanda de refrigeración, se conectarán un total de 12 equipos de estas características.



Imagen 67: Máquina de absorción con aerotermia



FUNCIONAMIENTO EN ACONDICIONAMIENTO (1)

Punto de funcionamiento A35/W7	GUE eficiencia de uso del gas	%	67	67	67	67	67
	potencia frigorífica	kW	16,9	33,8	50,7	67,6	84,5
Caudal de agua nominal (ΔT = 5 °C)		m³/h	2,9	5,8	8,7	11,6	14,5
Pérdida de carga al caudal de agua nominal (A35/W7)		kPa	31	33	33	33	33
Temperatura salida agua mínima		°C	3	3	3	3	3
Temperatura entrada agua	máxima	°C	45	45	45	45	45
	mínima	°C	6	6	6	6	6
Temperatura aire exterior (bulbo seco)	máxima	°C	45	45	45	45	45
	mínima	°C	0	0	0	0	0

CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADOR

Capacidad térmica	nominal	kW	25,7	51,4	77,1	102,8	128,5
	real	kW	25,2	50,4	73,6	100,8	126,0
Consumo gas real	gas natural G20 (2)	m³/h	2,72	5,44	8,16	10,88	13,60
	GLP G30/G31 (3)	kg/h	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Tensión	230 V - 50 Hz	400 V 3N - 50 Hz o 230 V 1N - 50 Hz
Potencia eléctrica nominal (4)	kW	0,9 2,14 3,21 4,28 5,35

Imagen 68: Propiedades de la máquina de absorción con aerotermia

La potencia frigorífica de uno de estos equipos es de 16,9kW. En total se necesitan conectar 12 módulos para suministrar la potencia de refrigeración necesaria.

Los rendimientos térmico y eléctrico de estos equipos son:

$$\eta_{eléc} = \frac{16,9}{0,9} = 18,8 \qquad \eta_{term} = \frac{16,9}{25,7} = 0,66$$

En calefacción, el agua caliente será producida directamente por la caldera de biomasa.

En Calener GT no es posible definir una máquina de absorción con condensación por aire, por lo que se ha definido un circuito de refrigeración con una bomba y una torre de refrigeración con consumos nulos.

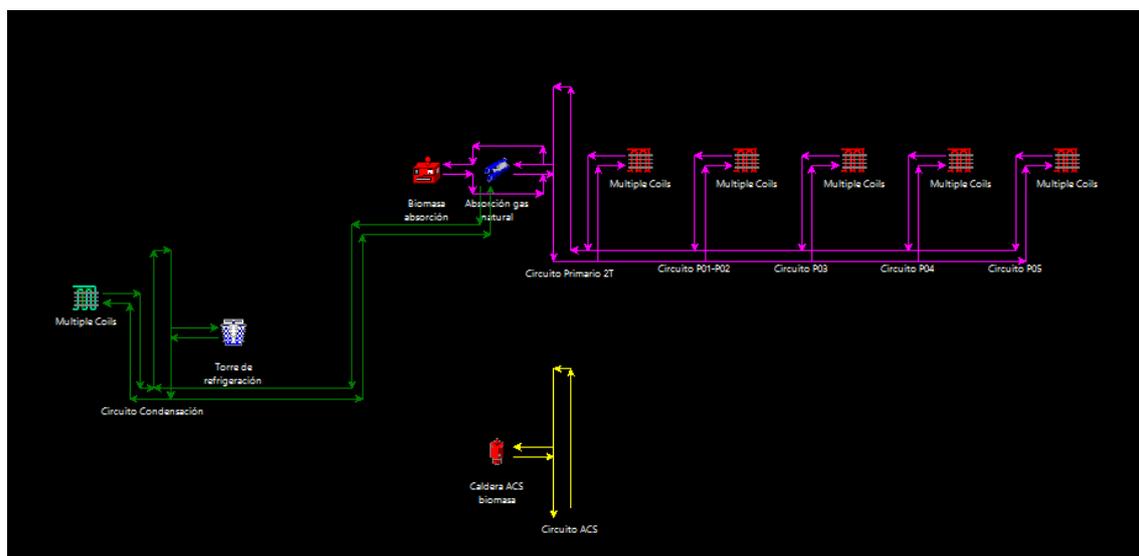


Imagen 69: Absorción con gas natural y aerotermia para refrigeración y caldera de biomasa para calefacción



13.1.1 Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio

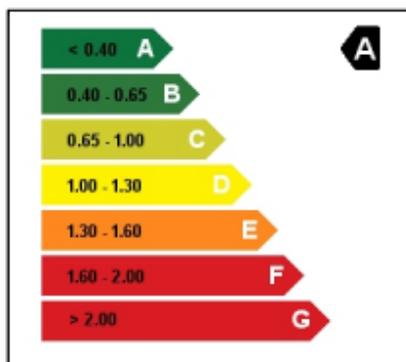
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calif. (kW·h/m²)	14.7	30.7	0.48	B
Demanda Refri. (kW·h/m²)	47.8	63.3	0.76	C
Energía Primaria (kW·h/m²)	77.5	326.4	0.24	A

Emisiones Climat. (kg CO2/m²)	8.1	61.9	0.13	A
Emisiones ACS (kg CO2/m²)	0.0	4.0	0.00	A
Emisiones Ilum. (kg CO2/m²)	5.8	17.4	0.33	A
Emisiones Tot. (kg CO2/m²)	13.8	83.3	0.17	A

Nota: Los valores han sido obtenidos utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	487086.4	1718457.9
Energía Final (kWh/(m²año))	54.1	191.0
En. Primaria (kWh/año)	697609.4	2937350.0
En. Primaria (kWh/(m²año))	77.5	326.4
Emisiones (kg CO2/año)	124615.4	749997.9
Emisiones (kg CO2/(m²año))	13.8	83.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

13.1.2 Consumo de gas natural

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	5770,2	20008,5	28285,4	35839,9	31030,7	29730,0	24287,5	0,0	0,0	174952,1
TOTAL	0,0	0,0	0,0	5770,2	20008,5	28285,4	35839,9	31030,7	29730,0	24287,5	0,0	0,0	174952,1

13.1.3 Consumo de biomasa

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Calefacción	21894,9	14704,8	12631,7	7372,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	497,4	11435,8	16492,5	85029,7
ACS	7274,6	6749,6	7492,5	6805,5	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7268,1	7055,9	6678,8	79062,2
TOTAL	29169,4	21454,4	20124,2	14178,2	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7765,4	18491,7	23171,3	164091,9

13.1.4 Consumo de electricidad

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7479,6	6829,1	7526,0	6829,1	7502,8	7189,1	7502,8	7502,8	6852,3	7502,8	7166,0	6492,3	86374,7
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	937,2	2756,5	3171,5	3322,5	3322,5	3020,4	3002,6	0,0	0,0	19533,2
Sistema de condensación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	337,4	306,7	337,4	306,7	337,4	322,0	337,4	337,4	306,7	337,4	322,0	291,4	3879,7
Ventiladores	3223,3	2911,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	37951,4
Calefacción	68,7	57,9	57,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	52,4	57,9	323,0
TOTAL	11108,9	10105,0	11143,6	11219,4	13819,9	13801,9	14385,9	14385,9	13298,7	14068,3	10659,7	10064,8	148062,0

Estos resultados siguen siendo peores que los que se consiguen empleando únicamente una alternativa convencional debido principalmente al empleo de gas natural en refrigeración.



13.2 Opción adicional 2. Absorción con aerotermia y biomasa

Como alternativa al gas, se ha considerado la sustitución de los quemadores de gas de las máquinas por quemadores de biomasa, de forma que aunque se consigan rendimientos menores, las emisiones de CO₂ que se obtengan en refrigeración sean casi nulas.

Nuevamente ha sido necesario simular la condensación por aire a través de un circuito de agua de condensación con una torre de refrigeración y una bomba de potencias nulas.

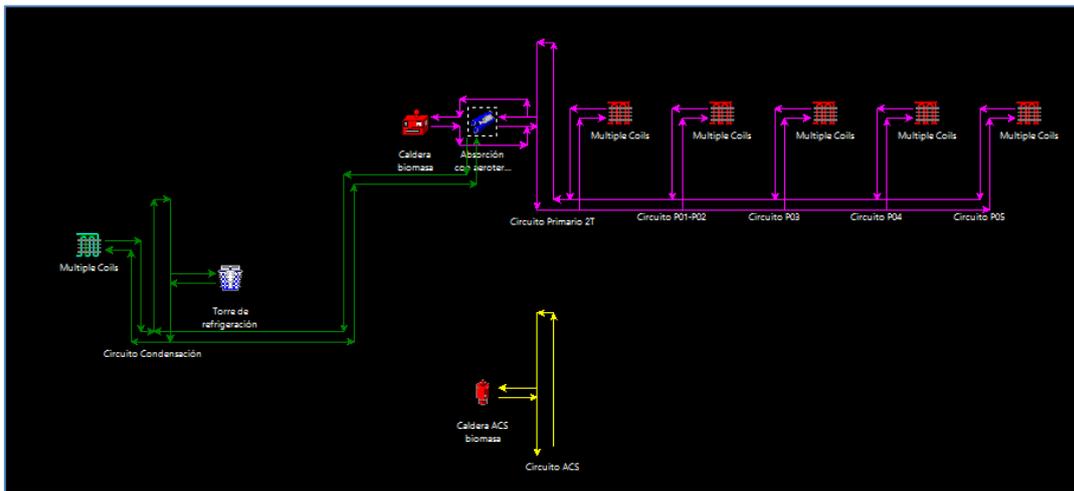


Imagen 70: Absorción con aerotermia y caldera de biomasa

13.2.1 Indicadores energéticos anuales y etiqueta del edificio

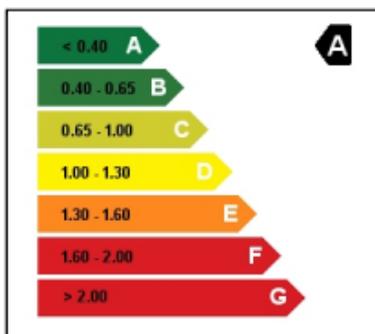
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	14.7	30.7	0.48	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	47.8	63.3	0.76	C
Energía Primaria (kW·h/m ²)	79.5	326.4	0.24	A

Emissiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	4.2	61.9	0.07	A
Emissiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	4.0	0.00	A
Emissiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	5.8	17.4	0.33	A
Emissiones Tot. (kg CO₂/m²)	9.9	83.3	0.12	A

Nota: Los valores han sido obtenidas utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	505756.4	1718457.9
Energía Final (kWh/(m ² año))	56.2	191.0
En. Primaria (kWh/año)	715645.6	2937350.0
En. Primaria (kWh/(m ² año))	79.5	326.4
Emissiones (kg CO₂/año)	89463.5	749997.9
Emissiones (kg CO₂/(m²año))	9.9	83.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.



13.2.2 Consumo de electricidad

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7479,6	6829,1	7526,0	6829,1	7502,8	7189,1	7502,8	7502,8	6852,3	7502,8	7166,0	6492,3	86374,7
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	979,0	2879,1	3312,4	3470,1	3470,1	3154,7	3136,1	0,0	0,0	20401,5
Sistema de condensación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	337,4	306,7	337,4	306,7	337,4	322,0	337,4	337,4	306,7	337,4	322,0	291,4	3879,7
Ventiladores	3223,3	2911,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	37951,4
Calefacción	68,7	57,9	57,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	52,4	57,9	323,0
TOTAL	11108,9	10105,0	11143,6	11261,1	13942,5	13942,9	14533,5	14533,5	13433,0	14201,8	10659,7	10064,8	148930,3

13.2.3 Consumo de biomasa

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	6348,5	22022,6	31161,1	39518,4	34199,2	32769,3	26734,8	0,0	0,0	192753,8
Calefacción	21894,9	14704,8	12631,7	7372,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	497,4	11435,8	16492,5	85029,7
ACS	7274,6	6749,6	7492,5	6805,5	7283,7	7062,0	7171,1	1415,8	6804,6	7268,1	7055,9	6678,8	79062,2
TOTAL	29169,4	21454,4	20124,2	20526,7	29306,2	38223,1	46689,5	35615,0	39573,9	34500,2	18491,7	23171,3	356845,8

13.3 Resumen de los resultados obtenidos

A continuación se presenta una tabla resumen con las características principales de las cinco instalaciones propuestas:

	Calificación energética	Energías empleadas	Energía Final kWh/m ² año	Energía Primaria kWh/m ² año	Emisiones kgCO ₂ /m ² año
Bomba de calor con condensación por aerotermia y caldera de gas natural.	A	Aerotermia Gas Natural Solar Térmica Solar Fotovoltáica	25	48,8	11,8
Bomba de calor con condensación por geotermia y caldera de biomasa.	A	Geotermia Biomasa Solar Fotovoltáica	38,2	80,9	18
Máquina de absorción con refrigeración por geotermia y caldera de biomasa	A	Geotermia Biomasa Solar Fotovoltáica	58,5	82,1	10,1
Máquina de absorción con refrigeración por aerotermia y caldera de gas natural	A	Aerotermia Gas Natural Solar Térmica Solar Fotovoltáica	54,1	77,5	13,8
Máquina de absorción con refrigeración por aerotermia y caldera de biomasa	A	Aerotermia Biomasa Solar Fotovoltáica	56,2	79,5	9,9

A la vista de los resultados, aunque en todos los casos se obtiene la etiqueta de eficiencia energética A, la alternativa renovable que menos emisiones genera es la última opción. Por lo tanto, se descartan los ensayos de bomba de calor con condensación por geotermia, máquina de absorción con refrigeración por geotermia, y bomba de calor con ciclo de absorción y quemador de gas natural, por tener un consumo energético y unas emisiones demasiado altos.

A partir de ahora se presentan los resultados de estimación de inversión inicial, suministro anual de electricidad y suministro anual de combustibles anuales para el caso convencional y para el caso renovable.



14. Presupuesto de las instalaciones

14.1.1 Opción convencional - Bomba de calor de condensación por aerotermia y caldera de gas natural para ACS

Descripción	Precio unitario	Unidades	Total
Unidad Exterior - Modelo ARUN08OLTE4	9.836,00 €	1	9.836,00 €
Unidad Exterior - Modelo ARUN100LTE4	10.815,00 €	2	21.630,00 €
Unidad Exterior - Modelo ARUN120LTE4	12.916,00 €	1	12.916,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU12GTRC2	1.449,00 €	3	4.347,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU15GTQC2	1.620,00 €	1	1.620,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU18GTQC2	1.665,00 €	7	11.655,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU24GTPC2	1.809,00 €	1	1.809,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU28GTQC2	1.980,00 €	1	1.980,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU48GTMC2	2.439,00 €	3	7.317,00 €
Caldera de gas natural ATILA 40	3.310,35 €	1	3.310,35 €

Tabla 49: Presupuesto de las instalaciones del caso convencional de bomba de calor con aerotermia

14.1.2 Opción renovable – Absorción por aerotermia y caldera de biomasa

Descripción	Precio unitario	Unidades	Total
Planta enfriadora por ciclo de absorción	2.145,00 €	12	25.740,00 €
Quemadores de biomasa	699 €	12	8.388 €
Caldera de biomasa	41.848,95 €	1	41.848,95 €
Unidad Interior - Modelo ARNU12GCEA2	1.332,00 €	3	3.996,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU15GCEA2	1.377,00 €	1	1.377,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU18GCFA2	1.449,00 €	7	10.143,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU24GCFA2	1.521,00 €	1	1.521,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU42GBGA2	1.836,00 €	1	1.836,00 €
Unidad Interior - Modelo ARNU48GBRA2	2.205,00 €	3	6.615,00 €
Total			101.464,95 €

Tabla 50: Presupuesto de las instalaciones del caso renovable de absorción con biomasa y aerotermia

El desembolso inicial es mayor en el caso de las instalaciones de energía renovable. Además, este último caso hay que tener en cuenta que la sustitución del quemador de gas natural por un quemador de biomasa puede suponer la pérdida de garantía de los equipos.

También es necesario considerar que el mantenimiento de equipos que funcionan con biomasa es más complicado y costoso que el de los equipos convencionales, lo que incrementará el gasto anual de las instalaciones.

14.2 Suministro eléctrico

En el anexo V se encuentra la información pertinente a este punto. A continuación únicamente se presentarán las tablas con los resultados.



14.2.1 Opción convencional - Bomba de calor con condensación por aerotermia

Término de facturación de energía	11.240,97 €
Término de facturación de potencia	10.507,22 €
Base Imponible I.E.E.	21.748,19 €
I.E.E. (4,864% s/1,05113)	1.111,92 €
Base Imponible I.V.A.	22.860,11 €
I.V.A. (21%)	4.800,62 €
Total Factura	27.660,73 €

Tabla 51: Precio del suministro eléctrico anual

14.2.2 Opción renovable – Absorción por aerotermia y caldera de biomasa

Término de facturación de energía	10.687,86 €
Término de facturación de potencia	9.570,93 €
Base Imponible I.E.E.	20.258,80 €
I.E.E. (4,864% s/1,05113)	1.035,77 €
Base Imponible I.V.A.	21.294,57 €
I.V.A. (21%)	4.471,86 €
Total Factura	25.766,43 €

Tabla 52: Precio del suministro eléctrico anual

14.3 Suministro de combustibles

14.3.1 Opción convencional – Suministro de gas natural para ACS

	Precio unitario	Unidades	Precio total
Término fijo	54,22 €/mes	12	650,64€
Término variable	0,050973 €/kWh	73801	3.761,86€
IVA (21%)			926,62€
TOTAL			5.339,12€

Tabla 53: Precio del suministro de gas natural anual

14.3.2 Opción renovable – Suministro de biomasa para climatización y ACS

Consumo biomasa (kWh)	356.845,8
PCI biomasa (kWh/kg)	5,23
Consumo biomasa (kg)	68.230,6
Precio biomasa (€/kg)	0,237163 €
Precio biomasa consumida (€)	16.181,76 €

Tabla 54: Precio del suministro de biomasa anual

15. Conclusiones

Antes de empezar con el análisis de los resultados, es necesario comentar que la Directiva Europea 2010/31 define las energías procedentes de fuentes renovables como aquellas energías procedentes de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. En este proyecto se han estudiado un total de cuatro de las energías mencionadas anteriormente: solar, aerotérmica, geotérmica y biomasa.



Además, el artículo 6 de esta normativa indica que, en edificios de nueva construcción, se debe considerar y tener en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia, entre las que se incluyen:

- Instalaciones descentralizadas de abastecimiento de energía basadas en energía procedente de fuentes renovables.
- Cogeneración.
- Calefacción o refrigeración central, basada total o parcialmente de fuentes renovables.
- Bombas de calor.

En el estudio realizado se han incluido tecnologías de calefacción central basadas parcialmente en fuentes renovables y bombas de calor de alta eficiencia, siguiendo todas ellas las directrices establecidas en la Directiva Europea.

Antes de empezar con el análisis de los resultados es necesario destacar el hecho de que las cinco propuestas diferentes que se han estudiado, unas empleando tecnologías convencionales y otras empleando tecnologías más renovables, han conseguido todas ellas la calificación energética A. A partir de ahí, las dos alternativas con mejores resultados han sido la que emplea una bomba de calor de alta eficiencia con condensación por aerotermia y la máquina de absorción con refrigeración por aerotermia y caldera de biomasa.

Otro posible análisis podría haber sido el del empleo de una bomba de calor con condensación por aerotermia para la refrigeración y una caldera de biomasa para el suministro de calefacción y la producción de ACS, donde habría sido posible reducir las emisiones de CO₂ en el caso convencional. Sin embargo, debido al elevado rendimiento de la bomba de calor y al sobre coste que supondría tanto la instalación de una caldera de biomasa como el suministro de este combustible, se ha descartado esta opción por no ser económicamente viable.

15.1 Comparativa entre opción convencional y opción renovable

A continuación se muestran algunas cifras que permiten la comparación entre la instalación convencional de bomba de calor con aerotermia y la absorción con biomasa y aerotermia.

Desembolso inicial	
Opción convencional	76.420,35 €
Opción renovable	101.464,95 €
Suministro energético anual	
Opción convencional	32.999,85 €
Opción renovable	41.948,19 €
Energía Final (kWh/(m²año))	
Opción convencional	25
Opción renovable	56,8
Energía Primaria (kWh/(m²año))	
Opción convencional	48,8
Opción renovable	79,5
Emisiones (kg CO₂/(m²año))	
Opción convencional	11,8
Opción renovable	9,9



A la vista de estos resultados se puede concluir que el empleo de energías renovables en un edificio encarece considerablemente tanto la instalación como el mantenimiento anual. Además, el consumo de energía final es el doble en el caso de empleo de tecnologías renovables que en el caso convencional, debido a los bajos rendimientos de los equipos de absorción comparados con las bomba de calor seleccionadas.

El único índice favorable al caso renovable son las emisiones de CO₂. Hay que tener en cuenta que de los 11,8 kg CO₂/m², 1,7 son debidos a la instalación de ACS con una caldera de gas natural. Sustituyendo esta caldera por una de biomasa, las emisiones del edificio serían de 10,1, prácticamente iguales a las emisiones de los equipos de absorción, que tenían un valor de 9,9.

Una posible alternativa al empleo de biomasa en climatización podría ser la contratación de energía eléctrica con *garantía de origen*. Las garantías de origen son un instrumento que acredita que una cantidad de electricidad ha sido producida por fuentes renovables o de cogeneración de alta eficiencia en cualquier punto del Estado.

El informe de Sistema de Garantías de Origen y Etiquetado de la Electricidad de la CNMC 2013 cuenta con un listado de las comercializadoras que han adquirido Garantías de Origen para cubrir el 100% de la electricidad vendida, entre ellas se encuentra Nexus Renovables⁶.

Al contratar este tipo de energía se asegura que toda la energía eléctrica que necesita el edificio procede de una fuente renovable. Con esta alternativa podría conseguirse que las emisiones del edificio se reduzcan hasta casi hacerse cero, aunque se empleen equipos convencionales.

Por ello, las instalaciones más económicas y más ecológicas serían las que recogidas en los siguientes puntos:

- Bombas de calor convencionales de alto rendimiento para la climatización del edificio.
- Caldera de biomasa para la instalación de agua caliente sanitaria.
- Iluminación del edificio tipo LED.
- Suministro de energía eléctrica con garantía de origen.

15.2 Opinión personal

Por un lado, cabe destacar la importancia de la simulación del edificio propuesto y trabajo combinado para detectar soluciones con mayor trascendencia en los resultados, ya que esto permite conocer de manera previa a la construcción del edificio qué materiales dan buenos resultados, qué técnicas se pueden emplear para disminuir la demanda energética o qué instalaciones permiten reducir los consumos energéticos del edificio.

No obstante, el software facilitado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para ello tiene gran cantidad de puntos débiles que aumentan la complejidad de la simulación y que restan credibilidad a los resultados. Unos ejemplos de estos puntos débiles son:

⁶ <http://www.nexusenergia.com/es-es/nexus-energia/grupo-nexus-energia/nexus-renovables.html>



- La interfaz gráfica de trabajo del software LIDER es bastante pobre, lo que dificulta considerablemente la generación del edificio en 3D.
- LIDER no cuenta con una opción de “deshacer”, lo que unido a la complejidad de modelado del edificio hace que sea un programa bastante complicado de manejar.
- LIDER cuenta con una gran cantidad de materiales en su base de datos, pero aun así ha sido necesario añadir las propiedades de la termoarilla y de las cámaras de aire del falso techo.
- Calener GT dispone en su base de datos de equipos muy generales de climatización. Para definir los equipos correctamente hay que insertar las curvas características de los equipos a emplear, así como todas sus propiedades. El software Calener BD, desarrollado por la Universidad de Sevilla, facilita esta tarea, permitiendo exportar las características de gran variedad de equipos a Calener VyP y Calener GT.
- Calener GT trabaja, en zona B3, con las condiciones climáticas de referencia de Valencia, que son algo más frías que las de Cartagena, lo que hace que los resultados obtenidos no sean muy precisos.
- Calener GT trabaja además con una temperatura de consigna anual de 20°C. Si en invierno se le asigna una temperatura consigna de 21°C y en verano de 26°C, como es lo habitual, parece lógico pensar que la demanda de energía final se verá reducida considerablemente.

15.3 Conclusión final

En este proyecto se ha demostrado que sin subvenciones por parte del gobierno no es rentable hoy en día el empleo de tecnologías renovables aplicadas a edificios. Esto no significa que no haya que apostar por este tipo de instalaciones, significa que aún es necesario que alcancen el nivel de desarrollo que se ha conseguido con las tecnologías convencionales para conseguir aumentar el rendimiento de las instalaciones y disminuir su precio inicial y su coste de mantenimiento.

4. Bibliografía

- Manual de geotermia – IDAE.
- Atlas de radiación solar y temperatura ambiente en la comunidad autónoma de la Región de Murcia.
- Guía técnica de ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización – IDAE.
- Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica – IDAE.
- Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica - Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red – IDAE.
- Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3.
- Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto.
- www.absorsystem.com
- <http://www.ecoserveis.net/es/electricidad-verde-y-garantias-de-origen/>



Anexo I. Cálculo de la resistencia térmica de la cámara de aire en el falso techo

En este apartado se va a proceder al cálculo de la resistencia térmica que ofrece una cámara de aire de 45 cm de espesor que forma parte del falso techo situado en el edificio.

Dado que se trata de una cámara de más de 30 cm, el CTE nos indica que la resistencia térmica de este elemento se debe calcular siguiendo el procedimiento indicado en la norma UNE-EN ISO 6946.

En el anexo B de la norma anteriormente mencionada se puede consultar la expresión para el cálculo de la resistencia térmica de un espacio confinado⁷ no ventilado con una anchura y una longitud 10 veces mayor que el espesor:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

Donde

R_g es la resistencia térmica del espacio confinado;

h_a es el coeficiente de conducción/convección;

h_r es el coeficiente de radiación.

h_r viene dado por

$$h_r = E \cdot h_{r0}$$

Donde

E es la emisividad entre superficies:

$$E = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

donde ε_1 y ε_2 son las emisividades hemisféricas de las superficies adyacentes al hueco.

En el caso de la cámara de aire que se está calculando, ambas superficies adyacentes están compuestas de yeso, con una emisividad de 0,93.

$$E = \frac{1}{2/\varepsilon_{yeso} - 1} = \frac{1}{2/0,93 - 1} = 0,869$$

⁷ Los espacios confinados se pueden tratar como medios con resistencia térmica, porque la transferencia de calor por radiación y convección a través de ellos es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura de las superficies adyacentes.



h_{r0} es el coeficiente de radiación para la superficie de un cuerpo negro. Según la tabla A.1, como el edificio en cuestión mantendrá una temperatura ligeramente superior a los 20°C, se tomará un valor para este coeficiente de 5,8 W/(m²K)

Temperatura media °C	h_{r0} W/(m ² K)
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

$$h_r = E \cdot h_{r0} = 0,869 \cdot 5,8 = 5,041 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

h_a se determina por conducción con aire en reposo para espacios confinados de poca anchura y por convección para cavidades anchas. Para cálculos de acuerdo con esta norma internacional, se toma como valor de h_a el mayor de los siguientes: 0,025/d o el valor de h_a obtenido de la tabla B.1, donde d es el espesor del espacio confinado en la dirección del flujo de calor.

0,025/d	Tabla B.1 (flujo ascendente)	Tabla B.1 (flujo descendente)
0,056	1,95	0,171

Distinguiremos pues dos casos, uno en el que el flujo de calor es ascendente (para los forjados de la cubierta y entreplantas) y otro en el que el flujo de calor es descendente (para el forjado en voladizo).

I.I Cámara de Aire de 45 cm con Flujo de Calor Ascendente

En este caso, el valor de h_a es 1,95, con lo que el valor de la resistencia térmica para esta cámara de aire es:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,95 + 5,04} = 0,143 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

I.II Cámara de Aire de 45 cm con Flujo de Calor Descendente

En esta situación, h_a toma un valor de 0,171 y el valor de la resistencia térmica para esta cámara de aire es:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{0,171 + 5,04} = 0,192 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$



Anexo II. Horarios definidos en Calener GT

II.I Horarios diarios

II.I.I Horario de ocupación los días laborales

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	8 - 9:	<input type="text" value="0,3000"/>	ratio	16 - 17:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio
1 - 2:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	9 - 10:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio	17 - 18:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio
2 - 3:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	10 - 11:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio	18 - 19:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio
3 - 4:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	11 - 12:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio	19 - 20:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio
4 - 5:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	12 - 13:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio	20 - 21:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio
5 - 6:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	13 - 14:	<input type="text" value="0,9000"/>	ratio	21 - 22:	<input type="text" value="0,0100"/>	ratio
6 - 7:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	14 - 15:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	22 - 23:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
7 - 8:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	15 - 16:	<input type="text" value="0,3000"/>	ratio	23 - 24:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio

II.I.II Horario de ocupación los sábados

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	8 - 9:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	16 - 17:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
1 - 2:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	9 - 10:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	17 - 18:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
2 - 3:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	10 - 11:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	18 - 19:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
3 - 4:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	11 - 12:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	19 - 20:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
4 - 5:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	12 - 13:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	20 - 21:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
5 - 6:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	13 - 14:	<input type="text" value="0,1000"/>	ratio	21 - 22:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
6 - 7:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	14 - 15:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	22 - 23:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio
7 - 8:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	15 - 16:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio	23 - 24:	<input type="text" value="0,0000"/>	ratio



II.I.III Horario de ocupación los domingos y festivos

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio

II.I.IV Horario de iluminación los días laborales

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,8000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,9500"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,9500"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,9500"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="0,9500"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,9500"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,9500"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,9500"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,9500"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,9500"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,9500"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,3000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio



II.I.V Horario de iluminación los sábados

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,1500"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio

II.I.VI Horario de iluminación los domingos y festivos

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio



II.I.VII Horario de infiltraciones los días laborales

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="1,0000"/> ratio

II.I.VIII Horario de infiltraciones los sábados

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="1,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="1,0000"/> ratio



II.IX Horario de infiltraciones los domingos y festivos

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario: **D-ETSAIE-Inf-Fest**

Nombre: **D-ETSAIE-Inf-Fest**

Tipo: **Fracción**

Valores Horarios

0 - 1:	1,0000	ratio	8 - 9:	1,0000	ratio	16 - 17:	1,0000	ratio
1 - 2:	1,0000	ratio	9 - 10:	1,0000	ratio	17 - 18:	1,0000	ratio
2 - 3:	1,0000	ratio	10 - 11:	1,0000	ratio	18 - 19:	1,0000	ratio
3 - 4:	1,0000	ratio	11 - 12:	1,0000	ratio	19 - 20:	1,0000	ratio
4 - 5:	1,0000	ratio	12 - 13:	1,0000	ratio	20 - 21:	1,0000	ratio
5 - 6:	1,0000	ratio	13 - 14:	1,0000	ratio	21 - 22:	1,0000	ratio
6 - 7:	1,0000	ratio	14 - 15:	1,0000	ratio	22 - 23:	1,0000	ratio
7 - 8:	1,0000	ratio	15 - 16:	1,0000	ratio	23 - 24:	1,0000	ratio

II.IX Horario de demanda de ACS los días laborales

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario: **Horario ACS lab**

Nombre: **Horario ACS lab**

Tipo: **Fracción**

Valores Horarios

0 - 1:	0,0000	ratio	8 - 9:	0,2000	ratio	16 - 17:	0,2000	ratio
1 - 2:	0,0000	ratio	9 - 10:	0,2000	ratio	17 - 18:	1,0000	ratio
2 - 3:	0,0000	ratio	10 - 11:	1,0000	ratio	18 - 19:	0,2000	ratio
3 - 4:	0,0000	ratio	11 - 12:	0,2000	ratio	19 - 20:	0,2000	ratio
4 - 5:	0,0000	ratio	12 - 13:	0,2000	ratio	20 - 21:	0,2000	ratio
5 - 6:	0,0000	ratio	13 - 14:	0,2000	ratio	21 - 22:	0,0500	ratio
6 - 7:	0,0500	ratio	14 - 15:	0,1000	ratio	22 - 23:	0,0000	ratio
7 - 8:	0,1000	ratio	15 - 16:	0,1000	ratio	23 - 24:	0,0000	ratio

Hay dos horas al día donde se produce el consumo punta, de 10 a 11 y de 17 a 18. Las fracciones multiplican el horario punta, y la suma de los consumos horarios da el consumo horario.



II.I.XI Horario de demanda de ACS los sábados

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,2000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,2000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="1,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,2000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,2000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,2000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0500"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,1000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,1000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio

II.I.XII Horario de demanda de ACS los domingos

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Diario:

Nombre:

Tipo:

Valores Horarios

0 - 1: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	8 - 9: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	16 - 17: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
1 - 2: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	9 - 10: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	17 - 18: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
2 - 3: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	10 - 11: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	18 - 19: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
3 - 4: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	11 - 12: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	19 - 20: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
4 - 5: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	12 - 13: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	20 - 21: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
5 - 6: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	13 - 14: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	21 - 22: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
6 - 7: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	14 - 15: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	22 - 23: <input type="text" value="0,0000"/> ratio
7 - 8: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	15 - 16: <input type="text" value="0,0000"/> ratio	23 - 24: <input type="text" value="0,0000"/> ratio



II.II Horarios semanales

II.II.I Horario semanal de ocupación

Horario Diario | **Horario Semanal** | Horario Anual

Seleccionar Horario Semanal:

Nombre:

Tipo:

Asignación de Horarios Diarios

Lunes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Lab"/>
Martes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Lab"/>
Miércoles:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Lab"/>
Jueves:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Lab"/>
Viernes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Lab"/>
Sábado:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Sab"/>
Domingo:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ocup-Fest"/>

II.II.II Horario semanal de iluminación

Horario Diario | **Horario Semanal** | Horario Anual

Seleccionar Horario Semanal:

Nombre:

Tipo:

Asignación de Horarios Diarios

Lunes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Lab"/>
Martes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Lab"/>
Miércoles:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Lab"/>
Jueves:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Lab"/>
Viernes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Lab"/>
Sábado:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Sab"/>
Domingo:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Ilum-Fest"/>



II.II.III Horario semanal de infiltraciones

Horario Diario | **Horario Semanal** | Horario Anual

Seleccionar Horario Semanal:

Nombre:

Tipo:

Asignación de Horarios Diarios

Lunes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Lab"/>
Martes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Lab"/>
Miércoles:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Lab"/>
Jueves:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Lab"/>
Viernes:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Lab"/>
Sábado:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Sab"/>
Domingo:	<input type="text" value="D-ETSAIE-Inf-Fest"/>

II.II.IV Horario semanal de ACS

Horario Diario | **Horario Semanal** | Horario Anual

Seleccionar Horario Semanal:

Nombre:

Tipo:

Asignación de Horarios Diarios

Lunes:	<input type="text" value="Horario ACS lab"/>
Martes:	<input type="text" value="Horario ACS lab"/>
Miércoles:	<input type="text" value="Horario ACS lab"/>
Jueves:	<input type="text" value="Horario ACS lab"/>
Viernes:	<input type="text" value="Horario ACS lab"/>
Sábado:	<input type="text" value="Horario ACS sab"/>
Domingo:	<input type="text" value="Horario ACS dom"/>



II.III Horarios anuales

II.III.I Horario de ocupación

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Anual:

Nombre:

Tipo:

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	31	7	Sem-ETSAIE-Ocup
2	31	8	Sem-NoDisponible
3	31	12	Sem-ETSAIE-Ocup

II.III.II Horario de iluminación

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Anual:

Nombre:

Tipo:

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	31	7	Sem-ETSAIE-Ilum
2	31	8	Sem-NoDisponible
3	31	12	Sem-ETSAIE-Ilum



II.III.III Horario de infiltraciones

Horario Diario | Horario Semanal | **Horario Anual**

Seleccionar Horario Anual: **Infiltración ETTSAIE**

Nombre: **Infiltración ETTSAIE**

Tipo: **Fracción**

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	31	7	Sem-ETTSAIE-Inf
2	31	8	Sem-NoDisponible
3	31	12	Sem-ETTSAIE-Inf

Insertar Añadir Eliminar

II.III.IV Horario de demanda de ACS

Horario Diario | Horario Semanal | **Horario Anual**

Seleccionar Horario Anual: **Horario ACS**

Nombre: **Horario ACS**

Tipo: **Fracción**

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	31	7	Horario semanal ACS
2	31	8	Sem-NoDisponible
3	31	12	Horario semanal ACS

Insertar Añadir Eliminar



II.III.V Horario de disponibilidad de refrigeración

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Anual:

Nombre:

Tipo:

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	15	4	Sem-NoDisp
2	30	10	Sem-Disp
3	31	12	Sem-NoDisp

II.III.VI Horario de disponibilidad de calefacción

Horario Diario | Horario Semanal | Horario Anual

Seleccionar Horario Anual:

Nombre:

Tipo:

Periodos con diferentes horarios semanales (el 1er periodo comienza el 01/01)

	Hasta el día	Hasta el mes	Horario Semanal
1	15	4	Sem-Disp
2	30	10	Sem-NoDisp
3	31	12	Sem-Disp



Anexo III. Programa de necesidades

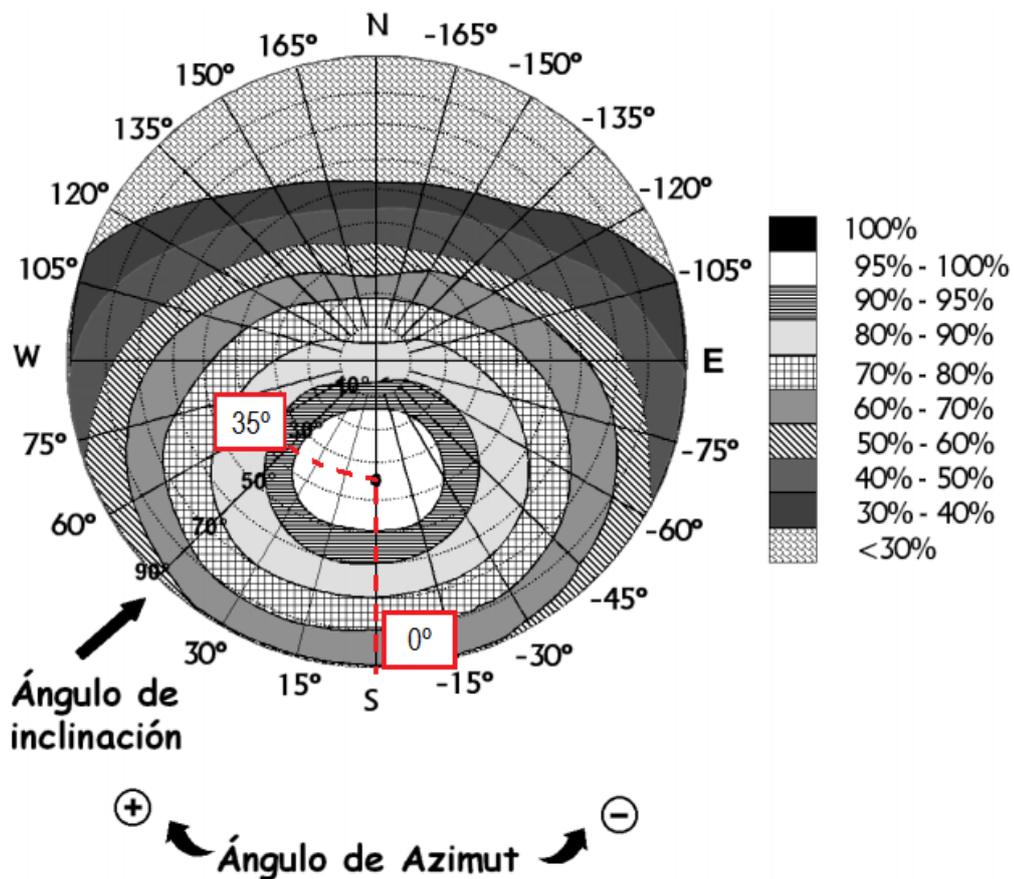
Espacio	Capacidad	Número	S _{útil} unitaria	S _{útil} total
Dirección y gestión de la ETSAIE				
Área de dirección				
Despacho Director ETSAIE		1	30	30
Despachos subdirectores y secretario		4	15	60
Área de administración				
Despacho de administración		1	25	25
Zona de archivo, almacén, fotocopiadora, etc.		1	75	75
Secretaría de gestión académica		1	80	80
Sala juntas dirección ETSAIE	20	1	50	50
Salón de actos ETSAIE (Campus Alfonso XIII)	200	1	300	300
Acceso general y espacio de exposiciones		1	200	200
Delegación de estudiantes		2	25	50
Subtotal				870
Aulas				
Aulas de teoría	60 estudiantes	5	75	375
Aulas de teoría	75 estudiantes	5	95	475
Aulas de seminarios, optativas y posgrado	60 estudiantes	4	75	300
Aulas gráficas 1 (Dibujo)	40 estudiantes	3	100	300
Aulas gráficas 2 (Ideación Gráfica)	40 estudiantes	1	160	160
Aulas gráficas 3 (Proyectos)	40 estudiantes	1	160	160
Aulas informática general	25 estudiantes	2	75	150
Aulas informática gráfica	25 estudiantes	1	90	90
Subtotal				2010
Departamentos				
Zona de dirección y administración				
Despachos del director del departamento		1	20	20
Administración del departamento		1	30	30
Salas de juntas del departamento	30 personas	1	60	60
Despachos				
Despachos profesores TC		30	15	450
Despachos profesores TP		16	20	320
Despachos profesores zona multidepartamental		6	15	90
Laboratorios docentes y de I+D				
Laboratorio de Materiales de Construcción y Expositor	20 alumnos	1	180	180
Laboratorio de Construcción	20 alumnos	1	120	120
Laboratorio de Instalaciones	20 alumnos	1	100	100
Taller de Maquetas	20 alumnos	1	200	200
Salas I+D+i de departamentos		6	40	240
Subtotal				1810
Total superficie útil neta				4690
Total superficie bruta necesaria para la ETSAIE				6700
Otras necesidades				
Archivo general de la Universidad				500
Zona de instalaciones técnicas				150
Almacén de la Unidad Técnica				80
Aparcamiento				600
Total superficie bruta necesaria				8030
Superficie por planta bruta			1800	
Número de plantas			4.461111111	
Configuración del edificio				
Planta semisótano (h=4 m)			3000	
Planta baja			1800	
Planta 1ª			1800	
Planta 2ª			1800	
TOTAL superficie a construir				8400
Coste aproximado		800	6720000	



Anexo IV. Pérdidas de energía solar debido a sombras

IV.I Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación del generador distinta de la óptima

El siguiente diagrama representa el porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación



Dado que el edificio tiene toda la cubierta plana disponible, se seleccionarán los ángulos de inclinación y de azimut óptimos que reducen al mínimo estas pérdidas, que son:

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 35^\circ$$

Donde el parámetro α representa el azimut y β la inclinación del generador.

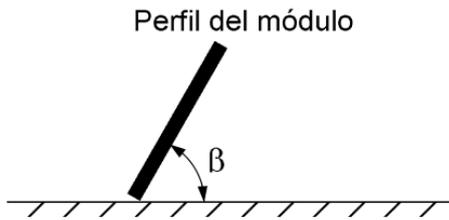


Fig. 1

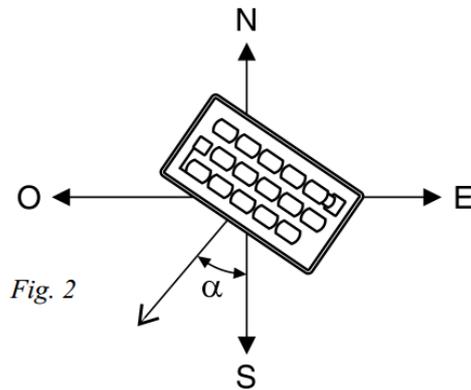


Fig. 2

IV.II Cálculo de las pérdidas de radiación solar por sombras

A continuación se procede al cálculo de las pérdidas de radiación solar que se experimenta la instalación debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie de no existir sombra alguna.

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. Los pasos a seguir son los siguientes:

IV.II.I Distancia mínima a obstáculos

A continuación se va a calcular la distancia mínima a la que hay que colocar los paneles de los edificios para que no se produzcan demasiadas pérdidas por sombras. En instalaciones que se utilicen todo el año, como es el caso que nos ocupa, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene el siguiente valor:

$$h_0 = 90 - \text{Latitud} + \delta$$

δ se calcula según cada día del año, y para el 21 de diciembre tiene un valor de $-23,45^\circ$.

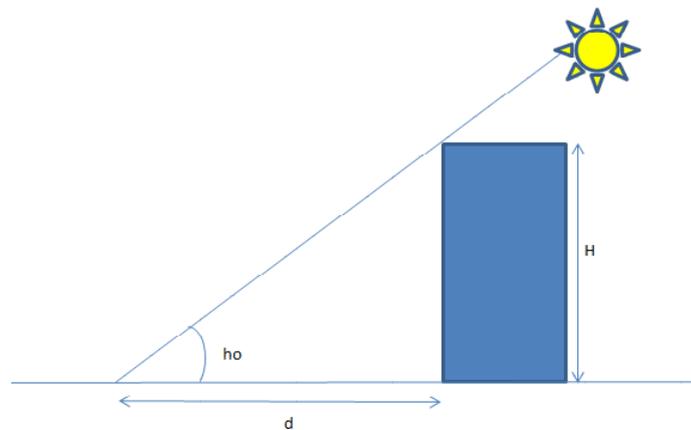


Imagen 71: Distancia mínima a obstáculos



Latitud (°)	37,6
Día juliano	355
Declinación, δ (°)	-23,45
h_0 (°)	28,95
Altura del edificio, H (m)	14
Distancia mínima, d (m)	25,31

Tabla 55: Cálculo de la distancia mínima a obstáculos

Los colectores solares y paneles fotovoltaicos deberán estar a una distancia de 25,31 metros, como mínimo, de los edificios.



Imagen 72: Vista en planta del edificio - Zona apta para la ubicación de colectores solares y paneles fotovoltaicos

En la figura anterior se representa la vista en planta del edificio de ETSAE. En color verde se ha sombreado la zona donde se pueden ubicar los paneles fotovoltaicos para que las pérdidas por sombra no sean muy grandes (la zona verde se encuentra a más de 25,31 metros de los edificios al sur del ETSAE).

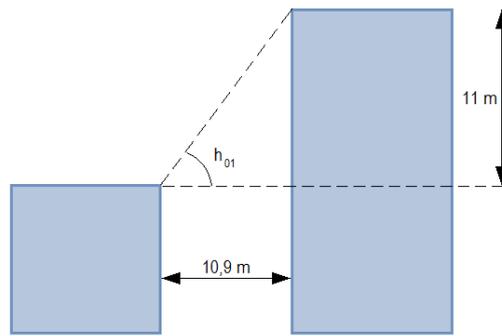
IV.II.II Obtención del perfil de obstáculos

Los principales obstáculos que afectan a la superficie son los dos edificios situados al sur de la ETSAE, en la calle Carlos III. Es necesario representar estos edificios en términos de sus coordenadas de posición azimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección Sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal).

IV.II.II.1 Altura de los obstáculos

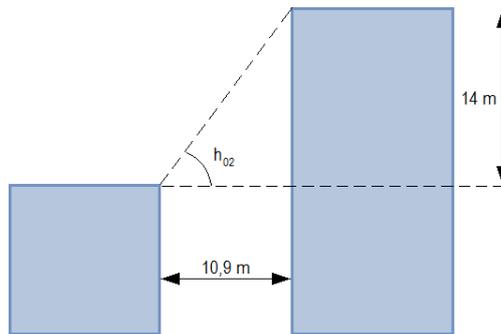
El edificio de ETSAE tiene una altura de 16 metros. Los edificios de Carlos III tienen 8 y 9 plantas respectivamente. Se ha estimado una altura de 3 metros por planta, por lo que un edificio tendrá una altura de 27 metros y otro una altura de 30 metros.

El edificio de 27 metros de alto sobresale un total de 11 metros por encima de la cubierta del ETSAE:



$$h_{01} = \text{atan}\left(\frac{11}{10,9}\right) = 45,3^\circ$$

El edificio de 30 metros de altura sobresale 14 metros por encima del ETSAE:



$$h_{02} = \text{atan}\left(\frac{14}{10,9}\right) = 52,1^\circ$$

IV.II.II.II Ángulos de azimut

En el siguiente esquema se muestran los ángulos de desviación con respecto al sur:

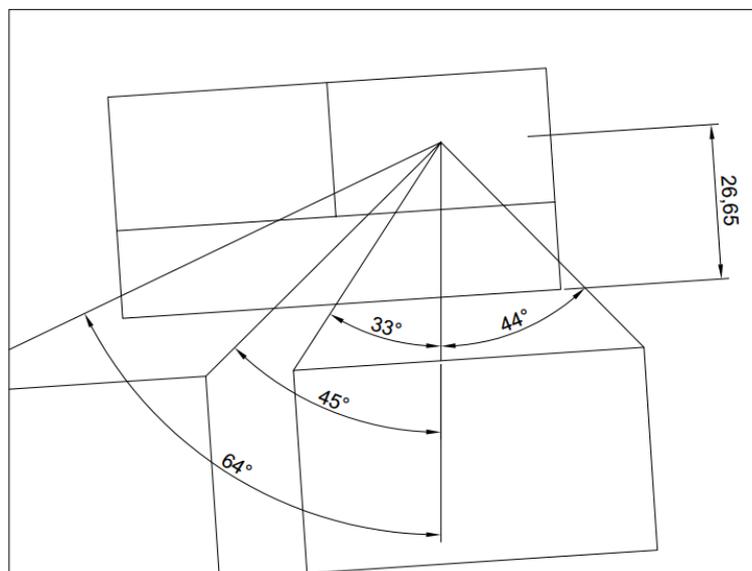


Imagen 73: Ángulos de desviación respecto al sur



IV.II.II.III Perfil de obstáculos

En la siguiente table se resumen los datos de acimut y altura obtenidos anteriormente:

ACIMUT (°)	ALTURA (m)
-64	0
-64	14
-45	14
-45	0
-33	0
-33	11
44	11
44	0

Tabla 56: Tabla de valores de altura y acimut

La siguiente figura representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación.

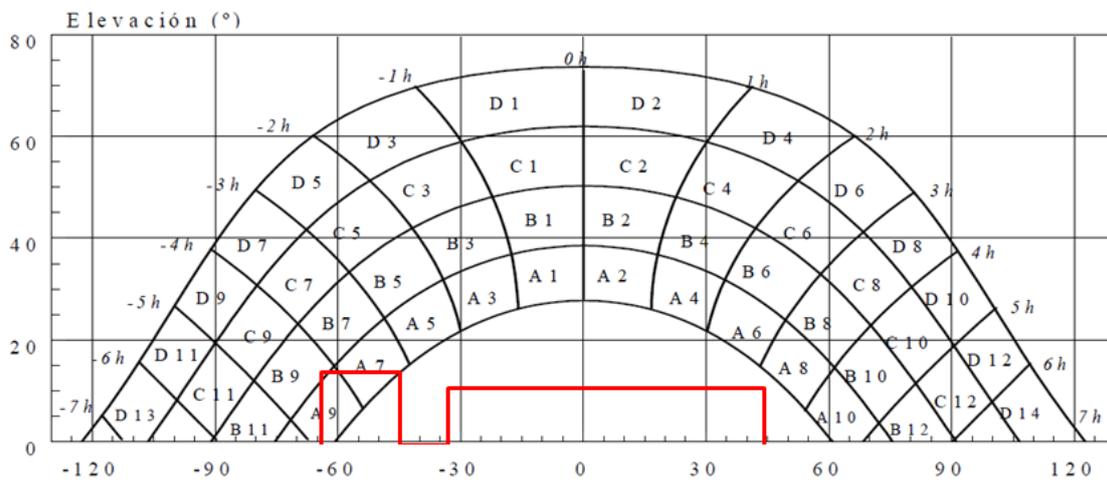


Imagen 74: Diagrama de sombras proyectadas por los obstáculos en el edificio

Como se puede apreciar en el diagrama, el edificio de la derecha no proyecta sombras en el lugar donde se ha decidido instalar los paneles fotovoltaicos. El de la izquierda toca las zonas de sombra A7, A9 y B9.

Como referencia para el cálculo, se buscan en la tabla V1 del pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red los valores correspondientes a las zonas mencionadas anteriormente:



Tabla V-1

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla 57: tabla V1 del pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red

La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

PERDIDA TOTAL %		
Casilla	% sombra	Tabla 1 $\beta=35^\circ \alpha=0^\circ$
A7	0,50	1,00
A9	0,75	0,13
B9	0,25	0,41

Tabla 58: Pérdidas por obstáculos

$$Pérdida\ total = 0,25 \cdot B9 + 0,75 \cdot A9 + 0,5 \cdot A7 = 0,70\%$$

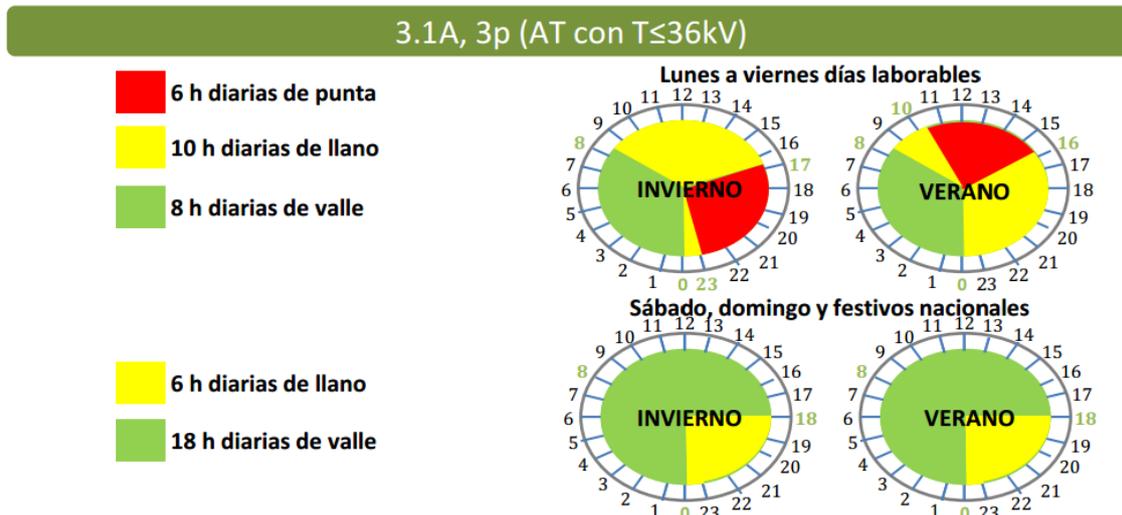


Anexo V Detalles del presupuesto

V.I Suministro eléctrico

En este apartado se va a estimar la factura anual de suministro eléctrico en cada uno de los tres casos calculados. El suministro se va a considerar que es del tipo 3.1⁸, con una potencia contratada en los tres periodos igual al doble del valor del consumo horario máximo calculado.

La tarifa 3.1 tiene las siguientes características:



Término Potencia (€/kW·año)		Término Energía (€/kWh)	
P1 – Punta	59,173468	P1 – Punta	0,014335
P2 – Llano	36,490689	P2 – Llano	0,127540
P3 – Valle	8,367731	P3 – Valle	0,007805

Con Calener GT es posible obtener el consumo mensual de energía eléctrica del edificio. Para estimar el valor de la factura eléctrica anual en cada caso, se realizaron las siguientes operaciones:

1. El primer paso fue obtener el número de días laborales de cada mes durante el año 2014 y dividir el consumo mensual entre dicho valor.
2. Considerando que los equipos de climatización pueden estar activos un total de 16 horas diarias (desde las 6:00 hasta las 22:00), se calcula el número de horas que los equipos funcionan cada mes:

$$\text{Horas mensuales de funcionamiento} = \text{días laborales} \times 16$$
3. Se divide el consumo mensual entre las horas de funcionamiento de cada mes para obtener el consumo medio horario de los equipos.
4. Para ajustar el consumo horario medio a la demanda real de los equipos, se aplica la siguiente curva de consumo eléctrico horario.

⁸Los precios se han obtenido de la web de Iberdrola:
https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/eu_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf



Hora	Consumo eléctrico Ei/Em	Hora	Consumo eléctrico Ei/Em
0 – 1	0,00000	12 – 13	1,09827
1 – 2	0,00000	13 – 14	1,10353
2 – 3	0,00000	14 – 15	1,08789
3 – 4	0,00000	15 – 16	1,02900
4 – 5	0,00000	16 – 17	1,01378
5 – 6	0,00000	17 – 18	1,01745
6 – 7	0,73536	18 – 19	1,00950
7 – 8	0,81301	19 – 20	0,99724
8 – 9	0,92780	20 – 21	0,97816
9 – 10	1,03215	21 – 22	1,03137
10 – 11	1,06615	22 – 23	0,00000
11 – 12	1,05934	23 – 0	0,00000

Tabla 59: Curva de distribución horaria del consumo eléctrico

5. Se multiplica el consumo medio horario por los valores de la curva horaria para obtener la curva del consumo eléctrico mensual.
6. Con los valores de los términos de energía, se obtiene el precio de la energía eléctrica consumida cada día. Multiplicando este valor por el número de días laborales se estima el precio de la energía consumida cada mes.
7. En cuanto al término de potencia, se calcula directamente a partir de la potencia contratada.

V.I.I Bomba de calor con condensación por aerotermia

Estos son los resultados de consumo mensual y anual de electricidad obtenidos con el software Calener GT:

BdC - Aerotermia - Caldera GN ACS: Edificio-Mensual

Tipo de Energía: Electricidad

Variable: Energía Final

Gráfico Tabla

Consumo Energía Final (kWh)

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7389,0	6746,4	7434,8	6746,4	7411,9	7102,1	7411,9	7411,9	6769,3	7411,9	7079,2	6413,7	85328,5
Refrigeración	0,0	7,0	67,1	521,3	1741,8	3636,8	6642,5	2888,9	4685,6	2091,9	174,5	0,0	22457,3
Bombas y Auxiliares	114,1	103,7	114,1	103,7	114,1	108,9	114,1	114,1	103,7	114,1	108,9	98,5	1312,2
Ventiladores	2442,7	2109,4	2295,2	2233,3	2441,7	2602,7	2827,7	2672,1	2654,8	2483,6	2207,4	2414,5	29385,1
Calefacción	3708,4	2285,7	1760,9	721,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	37,7	1214,9	3122,2	12857,6
TOTAL	13654,2	11252,2	11672,1	10325,9	11716,1	13450,4	16996,2	13087,0	14213,5	12139,2	10784,9	12048,9	151340,7

Imagen 75: Energía eléctrica consumida



Días laborales	Mes	Consumo eléctrico kWh/mes	Horas de funcionamiento	Demanda promedio kWh/h	Precio energía consumida
22	enero	13654	352	38,79	1.096,95 €
19	febrero	11252	304	37,01	903,98 €
21	marzo	11672	336	34,74	937,71 €
20	abril	10326	320	32,27	726,51 €
21	mayo	11716	336	34,87	824,32 €
21	junio	13450	336	40,03	946,35 €
23	julio	16996	368	46,19	1.195,82 €
20	agosto	13087	320	40,90	920,78 €
22	septiembre	14214	352	40,38	1.000,04 €
23	octubre	12139	368	32,99	854,09 €
20	noviembre	10785	320	33,70	866,43 €
21	diciembre	12049	336	35,86	967,98 €
TOTAL					11.240,97 €

Tabla 60: Término de facturación de energía

Periodo	Potencia contratada	TP €/kW año	Precio
P1	101	59,173468	5.976,52 €
P2	101	36,490689	3.685,56 €
P3	101	8,367731	845,14 €
TOTAL			10.507,22 €

Tabla 61: Término de facturación de potencia



Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	28,52	27,22	25,55	23,73	25,64	29,44	33,96	30,07	29,69	24,26	24,78	26,37
7	31,54	30,09	28,24	26,23	28,35	32,55	37,55	33,25	32,83	26,82	27,40	29,15
8	35,99	34,34	32,23	29,94	32,35	37,14	42,85	37,94	37,46	30,61	31,27	33,27
9	40,04	38,20	35,86	33,31	35,99	41,32	47,67	42,21	41,68	34,05	34,79	37,01
10	41,36	39,46	37,04	34,40	37,18	42,68	49,24	43,60	43,05	35,17	35,93	38,23
11	41,09	39,21	36,80	34,18	36,94	42,41	48,93	43,32	42,78	34,94	35,70	37,99
12	42,60	40,65	38,15	35,44	38,30	43,96	50,72	44,92	44,35	36,23	37,01	39,38
13	42,81	40,85	38,33	35,61	38,48	44,18	50,97	45,13	44,56	36,40	37,19	39,57
14	42,20	40,27	37,79	35,10	37,93	43,55	50,24	44,49	43,93	35,89	36,66	39,01
15	39,92	38,09	35,75	33,20	35,88	41,19	47,52	42,08	41,55	33,94	34,68	36,90
16	39,33	37,52	35,22	32,71	35,35	40,58	46,82	41,46	40,94	33,44	34,17	36,35
17	39,47	37,66	35,34	32,83	35,48	40,73	46,99	41,61	41,08	33,56	34,29	36,49
18	39,16	37,37	35,07	32,58	35,20	40,41	46,62	41,29	40,76	33,30	34,02	36,20
19	38,68	36,91	34,64	32,18	34,77	39,92	46,06	40,78	40,27	32,90	33,61	35,76
20	37,94	36,21	33,98	31,56	34,11	39,16	45,18	40,00	39,50	32,27	32,97	35,08
21	40,01	38,17	35,83	33,28	35,96	41,29	47,63	42,18	41,65	34,02	34,76	36,98
22	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
23	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
Energía consumida diaria (kWh)	620,65	592,22	555,81	516,30	557,91	640,50	738,97	654,35	646,07	527,79	539,25	573,76
Precio energía consumida diaria (€)	49,86	47,58	44,65	36,33	39,25	45,06	51,99	46,04	45,46	37,13	43,32	46,09
Días laborales al mes	22	19	21	20	21	21	23	20	22	23	20	21
Precio energía consumida mensual	1096,9	904,0	937,7	726,5	824,3	946,3	1195,8	920,8	1000,0	854,1	866,4	968,0

Tabla 62: Energía consumida en días laborales para cada mes



V.I.II Máquina de absorción con condensación por geotermia

Repetimos los cálculos para el caso de absorción con aerotermia y caldera de biomasa.

	E	F	M	A	MY	JN	JL	AG	S	O	N	D	TOTAL
Iluminación	7479,6	6829,1	7526,0	6829,1	7502,8	7189,1	7502,8	7502,8	6852,3	7502,8	7166,0	6492,3	86374,7
Refrigeración	0,0	0,0	0,0	979,0	2879,1	3312,4	3470,1	3470,1	3154,7	3136,1	0,0	0,0	20401,5
Sistema de condensación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas y Auxiliares	337,4	306,7	337,4	306,7	337,4	322,0	337,4	337,4	306,7	337,4	322,0	291,4	3879,7
Ventiladores	3223,3	2911,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	3223,3	3119,3	3223,3	3119,3	3223,3	37951,4
Calefacción	68,7	57,9	57,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	52,4	57,9	323,0
TOTAL	11108,9	10105,0	11143,6	11261,1	13942,5	13942,9	14533,5	14533,5	13433,0	14201,8	10659,7	10064,8	148930,3

Imagen 76: Energía eléctrica consumida

Días laborales	Mes	Consumo eléctrico kWh/mes	Horas de funcionamiento	Demanda promedio kWh/h	Precio energía consumida
22	enero	11109	352	31,56	892,46 €
19	febrero	10105	304	33,24	811,81 €
21	marzo	11144	336	33,17	895,25 €
20	abril	11261	320	35,19	792,31 €
21	mayo	13943	336	41,50	980,97 €
21	junio	13943	336	41,50	981,00 €
23	julio	14534	368	39,49	1.022,55 €
20	agosto	14534	320	41,98	945,12 €
22	septiembre	13433	352	40,35	999,21 €
23	octubre	14202	368	28,97	750,00 €
20	noviembre	10660	320	31,45	808,58 €
21	diciembre	10065	336	29,95	808,58 €
TOTAL					10.687,86 €

Tabla 63: Término de facturación de energía

Periodo	Potencia contratada	TP €/kW año	Precio
P1	92	59,173468	5.443,96 €
P2	92	36,490689	3.357,14 €
P3	92	8,367731	769,83 €
TOTAL			9.570,93 €

Tabla 64: Término de facturación de potencia



Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	23,21	24,44	24,39	25,88	30,51	30,52	29,04	30,87	29,67	21,30	23,13	22,03
7	25,66	27,02	26,96	28,61	33,74	33,74	32,11	34,13	32,80	23,55	25,57	24,35
8	29,28	30,84	30,77	32,65	38,50	38,50	36,64	38,95	37,43	26,88	29,18	27,79
9	32,57	34,31	34,23	36,32	42,83	42,83	40,76	43,33	41,64	29,90	32,46	30,92
10	33,65	35,44	35,36	37,52	44,24	44,24	42,11	44,76	43,01	30,88	33,53	31,94
11	33,43	35,21	35,13	37,28	43,96	43,96	41,84	44,47	42,74	30,69	33,32	31,73
12	34,66	36,51	36,42	38,65	45,57	45,57	43,37	46,10	44,31	31,81	34,54	32,90
13	34,83	36,68	36,60	38,83	45,79	45,79	43,58	46,32	44,52	31,97	34,71	33,06
14	34,33	36,16	36,08	38,28	45,14	45,14	42,96	45,67	43,89	31,51	34,22	32,59
15	32,47	34,20	34,13	36,21	42,70	42,70	40,64	43,20	41,52	29,81	32,36	30,82
16	31,99	33,70	33,62	35,68	42,07	42,07	40,04	42,56	40,90	29,37	31,89	30,37
17	32,11	33,82	33,74	35,81	42,22	42,22	40,18	42,71	41,05	29,47	32,00	30,48
18	31,86	33,56	33,48	35,53	41,89	41,89	39,87	42,38	40,73	29,24	31,75	30,24
19	31,47	33,15	33,07	35,09	41,38	41,38	39,38	41,86	40,23	28,89	31,37	29,87
20	30,87	32,51	32,44	34,42	40,59	40,59	38,63	41,06	39,46	28,33	30,77	29,30
21	32,55	34,28	34,21	36,29	42,80	42,80	40,73	43,29	41,61	29,88	32,44	30,89
22	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
23	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
Energía consumida diaria	504,95	531,84	530,65	563,06	663,93	663,95	631,89	671,65	645,54	463,47	503,24	479,28
Precio energía consumida diaria	40,57	42,73	42,63	39,62	46,71	46,71	44,46	47,26	45,42	32,61	40,43	38,50
Días laborales al mes	22	19	21	20	21	21	23	20	22	23	20	21
Energía consumida mensual	892,5	811,8	895,3	792,3	981,0	981,0	1022,6	945,1	999,2	750,0	808,6	808,6

Tabla 65: Energía consumida en días laborales para cada mes



V.II Suministro de combustibles

En este punto se va a estimar la factura anual de suministro de gas natural y biomasa en cada uno de los tres casos calculados.

V.II.I Suministro de gas natural

Para estimar el valor de la factura de gas natural, se consideran los siguientes precios, adecuados al valor de la demanda total⁹:

Tipo de consumo	Consumo kWh/año	Tarifa aconsejada	Término fijo €/mes	Término variable €/kWh
Consumo alto (consumos entre 50.000 y 100.000 kWh/año)	50.000 - 100.000	Plan Energía Gas 3.3	54,22	0,050973

Imagen 77: Tarifa de consumo de gas natural

V.II.II Suministro de biomasa

Los pellets tienen un valor medio¹⁰ de 0,237163 €/kg, y su poder calorífico de 5,23 kWh/kg. Con este valor se puede obtener el consumo anual de pellets en kg:

$$\text{Consumo pellets anual} = \frac{\text{Energía final biomasa}}{PCI_{\text{biomasa}}}$$

Multiplicando el consumo de pellets en cada caso por su precio unitario se obtiene el precio anual de este combustible.

⁹Los precios se han obtenido de la web de Gas Natural Fenosa:

<http://www.gasnaturalfenosa.es/es/hogar/gas+luz+servicios/ofertas+luz+y+gas/1285340342233/tarifas+optimas+consumo.html>

¹⁰ El precio del saco de pellet se obtiene de la web de Mercamurcia:

<http://mercapellets.com/comprar-pellets/big-bag-de-pellets>