



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Evaluación energética y económica
de alternativas de instalaciones
térmicas para una vivienda de nueva
construcción**

Autor: D. Marta Cáceres Nieto
Tutor: D. Ana Tejero González
Tutor: D: Paula M. Esquivias Fernández

Valladolid, Septiembre, 2020



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Máster en Ingeniería Industrial

Título:

Evaluación energética y económica de alternativas de instalaciones térmicas para una vivienda de nueva construcción

Resumen:

En el presente Trabajo Fin de Master, se ha realizado el dimensionado de una instalación de energía solar térmica y junto con cuatro sistemas de apoyo de energía (caldera convencional, caldera de condensación, bomba de calor y solo bomba de calor como fuente de energía renovables) con el objetivo de satisfacer las demandas de calefacción y agua caliente sanitaria de una vivienda unifamiliar.

Para ello se llevarán a cabo los pasos necesarios para el diseño de toda la instalación, comenzando por el cálculo de las cargas térmicas de diseño de la vivienda con el fin de caracterizar tanto la vivienda como los diferentes sistemas de energía que intervienen en la instalación.

Además, se realizó una evaluación energética y económica con el objetivo de comprobar la viabilidad de cada una de las opciones de instalación que planteamos. Para ello lo que se hizo fue comparar estas cuatro opciones bajo el estudio realizado con el objetivo de determinar qué solución es más rentable y menos contaminante.

En este Trabajo Fin de Master se presentarán también los planos de la vivienda, los esquemas de las instalaciones y los certificados del cumplimiento de la norma de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

Palabras clave:

“Caldera convencional”, “Caldera de condensación”, “Bomba de calor”, “energía solar térmica”, “captador”, “agua caliente sanitaria”, “Calefacción”, “demanda térmica de diseño”

Title:

Energy and economic evaluation of alternatives of thermal installations for a newly built house

Summary:

In this End of Master Work, the sizing of a solar thermal energy facility has been carried out and together with four energy support systems (conventional boiler, condensation boiler, heat pump and only heat pump as a renewable energy source) with the aim of meeting the heating and sanitary hot water demands of a single-family home.

To do this, the necessary steps will be carried out for the design of the entire installation, starting with the calculation of the thermal loads of housing design in order to characterize both the housing and the different energy systems involved in the installation.

In addition, an energy and economic assessment was carried out with the aim of checking the feasibility of each of the installation options we raised. To do this, it was possible to compare these four options under the study carried out with the aim of determining which solution is most cost-effective and less polluting. In this End of Master's Work, the plans of the house, the schemes of the facilities and the certificates of compliance with the Energy Savings standard of the Technical Building Code will also be presented.

Keywords:

"Conventional Boiler", "Condensation Boiler", "Heat Pump", "Solar Thermal Energy", "Capturer", "Sanitary Hot Water", "Heating", "Thermal Design Demand"

Contenido

MEMORIA
ANEXO CALCULOS.....
ANEXO PLANOS.....
ANEXO OTROS DOCUMENTOS

MEMORIA

Tabla de contenido

1.	Introducción	2
1.1.	Justificación	2
1.2.	Objetivos	2
2.	Antecedentes	4
3.	Datos de partida del caso de estudio	7
3.1.	Localización	7
3.2.	Descripción de la vivienda.....	9
3.3.	Descripción constructiva	11
3.3.1.	Cerramientos verticales	12
3.3.2.	Cerramientos horizontales.....	16
3.3.3.	Particiones interiores	21
3.3.4.	Huecos.....	25
4.	Estudio necesidades	31
4.1.	Demanda de calefacción	31
4.2.	Demanda de ACS.....	35
4.3.	Potencia máxima necesaria.....	36
5.	Descripción de las instalaciones y elementos del sistema.....	39
5.1.	Sistemas de captación e intercambio	40
5.1.1.	Instalación propuesta.....	41
5.1.2.	Dimensionado de los captadores solares.....	48
5.2.	Sistema de acumulación.....	52
5.3.	Sistema de distribución.....	53
5.3.1.	Distribución de calefacción	53
5.3.2.	Distribución de ACS	61
5.4.	Sistema de regulación y control.....	62
5.5.	Sistema de apoyo o sistema de energía auxiliar	64
5.5.1.	Caldera convencional	64
5.5.2.	Caldera de condensación	67
5.5.3.	Bomba de calor	70
5.5.4.	Bomba de calor como fuente de energía renovable.....	74
6.	Resultados	77

6.1.	Opción 1. Instalación de paneles solares + caldera convencional	78
6.1.1.	Análisis energético	78
6.1.2.	Análisis económico.....	79
6.2.	Opción 2. Instalación de paneles solares + Caldera de condensación	82
6.2.1.	Análisis energético	83
6.2.2.	Análisis económico.....	83
6.3.	Opción 3. Instalación de paneles solares + Bomba de calor	86
6.3.1.	Análisis energético	86
6.3.2.	Análisis económico.....	87
6.4.	Opción 4. Bomba de calor	89
6.4.1.	Análisis energético	89
6.4.2.	Análisis económico.....	90
6.5.	Comparativa	92
7.	Conclusiones.....	97
8.	Bibliografía	99

1. Introducción

1.1. Justificación.

El estado actual en la sociedad viene marcado un cambio de mentalidad de la sociedad basado en las consecuencias de nuestros actos sobre el avance del cambio climático y las consecuencias que ello acarrearán a corto-medio plazo sobre el medio ambiente. Ante estos hechos, la sociedad debe tener en cuenta la importancia de la eficiencia energética y ahorro energético: producción y consumo inteligente de la energía, ahorrando en gastos y emisiones contaminantes de efecto invernadero).

Una de las consecuencias más importantes que estamos sufriendo actualmente es el cambio. Este conlleva a cambios drásticos como: variaciones del clima, modificación de nuestras costas por la crecida de nivel del mar, debido al calentamiento de los océanos y derretimiento de las masas del hielo de los polos e impacto en los flujos térmicos del planeta que modifica el clima de los territorios. Como consecuencia directa, entre otras muchas, la modificación de hábitats de miles de especies y de los asentamientos humanos en ciudades y pueblos próximos a niveles de mar actual.

España, como sociedad desarrollada, se ha planteado la necesidad de reducir los consumos diarios de energía con el fin de disminuir los avances de los impactos medioambientales estableciendo limitaciones que, además de contribuir hacia la disminución de emisiones contaminantes de dióxido de carbono respetando el medio ambiente, contribuye a reducir el gasto financiero.

1.2. Objetivos

El objetivo de este proyecto se centra en el estudio de distintas soluciones de instalaciones térmicas basadas en un sistema de energía solar como fuente principal y cuatro posibles sistemas de apoyo para una vivienda unifamiliar, con el objetivo de alcanzar un equilibrio económico y energético viable.

Las distintas soluciones propuestas como objetivo de estudio de sistemas de apoyo son:

- Caldera convencional de gas natural
- Caldera de condensación
- Bomba de calor
- Instalación única de bomba de calor como fuente de energía renovable.

Cada una de las opciones se analizará y valorará finalmente bajo los aspectos técnicos, económicos y medio ambientales, de tal forma que la elección final será tomada a partir de un mix de estas características.

A parte de establecer el sistema de suministro de energía de la vivienda, se establecerá un estudio de los aspectos constructivos de la vivienda con el fin de alcanzar el objetivo de la vivienda.

Para alcanzar este fin, nos centraremos en el estudio arquitectónico de la vivienda analizando las condiciones constructivas para determinar las necesidades energéticas de calefacción debido a las pérdidas por conducción. Este estudio se realizará a partir de las aplicaciones del CTE basadas en el modelado de viviendas como Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) [1], donde obtendremos el consumo energético en kWh/año de las necesidades de la construcción.

Con esto establecido, se podrá proceder a estudiar las distintas alternativas planteadas para la generación de calor.

El alcance del estudio queda definido, por lo tanto, por el estudio del sistema de generación de calor basado en el uso de un sistema de energía solar más un sistema de apoyo que consiga cubrir toda la demanda energética de la vivienda. Dentro de cada uno de los sistemas se planteará el estudio de funcionamiento de cada uno de los sistemas, definiendo las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos y los aspectos técnicos de cada una de ellas.

2. Antecedentes

Los problemas derivados de la contaminación del medio ambiente son una realidad y un problema que nos concierne a toda la sociedad y, por tanto, requiere marcar ciertos objetivos a largo plazo con el fin de paliar sus consecuencias al entorno.

La comunidad científica, así como, los dirigentes de las diferentes naciones, destacando aquellas con mayor desarrollo económico e industrial, se han dado cuenta que la industria y la tecnología, están teniendo un gran impacto ambiental, e incluso penalizaciones sociales y económicas que se deben paliar.

Estudiando las últimas cuatro décadas, se observa un proceso a nivel europeo, de reducción de las consecuencias del avance industrial denominado cambio climático planteando distintas normativas basadas en el desarrollo sostenible en todos los aspectos, y entre ellos, el sector de la construcción.

De todas ellas, cabe destacar uno de los principales acuerdos internacionales, denominado Protocolo de Kioto (1997). En él, se recoge un compromiso de los países industrializados, a reducir un 5 % los GEI (Gases Efecto Invernadero) de los niveles de 1990, entre el 2008 a 2012. En dicho protocolo se admite que no es posible alcanzar los niveles anteriores a revolución Industrial, pero sí que se pueden aplicar medidas para mantener bajas las consecuencias del cambio climático. Por su parte la Unión Europea firma y ratifica el acuerdo, y aumenta la reducción al 8 % global, y según variables económicas y ambientales cada estado miembro, define para el caso de España un 15 %.

El siguiente gran acuerdo en materia de emisiones llegaba en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático celebrada en París a finales del 2015. En este acuerdo universal se pretendía llegar a un equilibrio entre emisiones GEI generadas por el ser humano y las capturadas por los medios naturales y tecnológicos. Además, en 2018 cada uno de los países debe evaluar los impactos de sus iniciativas y revisar su política en reducción de emisiones de GEI.

Como consecuencia de los tratados internacionales y la necesidad del ahorro energético las distintas instituciones han definido numerosas normas y protocolos con la finalidad de buscar una mayor eficiencia y ser más responsables con el medio ambiente.

En la Unión Europea, la precursora de estas normas es la Directiva 93/76/CEE, de 1993 donde se limita las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) mediante la mejora de la eficacia energética. En ella, se define la construcción como una gran fuente de contaminación, y por tanto la establece como uno de los puntos fuertes a mejorar.

Posteriormente aparecieron diferentes normativas como la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) donde se recogen los objetivos del Protocolo de Kioto a nivel europeo. La primera de ellas, la Directiva 2002/91/CE, trata el comportamiento energético de los edificios, con lo que se instó a los países miembros a establecer metodología de certificación energética. En la Directiva 2010/31/UE se modifican aspectos de la anterior, y se establece la certificación energética en inmuebles en alquiler o venta como aspecto obligatorio, al igual que la etiqueta energética en edificios públicos y planes nacionales en aumentar el número de edificios de consumo casi nulo. Finalmente llega la Directiva 2012/27/UE en materia de eficiencia energética que completa la Directiva 2010/31/UE.

Derivadas de las normativas europeas, a nivel nacional, se desarrolló el Real Decreto 314/06, donde se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), estableciéndose como una norma básica de la construcción, y en la que se incluyen todos los aspectos relacionados con la edificación. En dicha normativa uno de los aspectos más importantes son los requisitos relativos al consumo energético, la demanda energética de los edificios, y la utilización de energías renovables para el funcionamiento de los edificios.

La siguiente modificación viene mediante el Real Decreto 1635/2013 con una actualización del DB-HE (Documento Básico de Ahorro de Energía) del CTE. Anteriormente, en materia de edificación se elaboran algunas normativas más, como son el RD 1027/07 Reglamento de las Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), Real Decreto 47/2007, el cual, es un procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de edificios de nueva construcción (Real Decreto 235/2013, sustitución del anterior); o el Real Decreto 56/2016 mediante el cual se transpone la Directiva 2012/27/UE en materia de auditorías energéticas, y acreditación de proveedores de servicios.

La normativa vigente es el Real Decreto 732/2019, recientemente aprobada, en el que se establecen nuevas restricciones que pretenden disminuir las necesidades energéticas de los edificios a partir de una limitación del Consumo de Energía Primaria Total y unas condiciones de calidad mínima energética de los cerramientos y del diseño arquitectónico. Esta nueva versión será de obligatorio cumplimiento para obras de nueva construcción a partir del 24 de septiembre de 2020, coexistiendo hasta dicho momento con la anterior normativa.

En conclusión, haciendo un recorrido por las normativas descritas se puede observar que se están definiendo directrices tanto a nivel estatal, europeo y mundial, para afrontar el cambio climático que afecta a la sociedad en general y que puede tener consecuencias irreversibles con el paso del tiempo.

Si nos centramos en el sector de la construcción, las directrices definidas marcan el camino a nuevas metas hacia un futuro con una edificación

sostenible y respetuosa con el medio ambiente impulsando la creación de edificios de consumo casi nulo (ECCCN) o nZEB (Nearly Zero Energy Buildings), donde se plantean construcciones con una demanda energética muy baja y una alta eficiencia energética con poco o nulo consumo de energía.

Como información complementaria, el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España, pone a disposición algunas herramientas básicas para el estudio del cumplimiento del CTE en materia de ahorro y consumo energético y la realización de certificaciones energéticas. Como herramienta fundamental encontramos la aplicación Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), la cual se empleará en el presente proyecto.

3. Datos de partida del caso de estudio

3.1. Localización

La vivienda unifamiliar destinada al estudio energético de este trabajo está situada en la población de Carpio, provincia de Valladolid, perteneciente a la comunidad de Castilla y León.



Imagen 1: Ubicación de Carpio dentro de la provincia de Valladolid.[2].

El municipio de Carpio se encuentra situado al sur de la capital de la provincia, Valladolid, a 77 km de distancia. Este está ubicado, con respecto a la geografía española, a una altitud de 759 msnm, a una latitud de 41° 12' 46" N y una longitud de 5° 6' 33" O.

La climatología del municipio resulta ser calurosa en los meses de verano alcanzando temperaturas extremas de hasta 40 grados y temperaturas bajas por debajo de los cero grados centígrados. Como se expresa en el apartado 1.1 del anexo cálculos, la temperatura mínima tomada con un percentil 99.6 % es de -5.2 °C, si bien es cierto que han llegado a alcanzarse temperaturas de -11.8 °C.

Esta vivienda está situada en los terrenos de la periferia del municipio en la calle Bobadilla número 8, rodeada de varias parcelas construidas con casas unifamiliares individuales sin generación de sombras u obstáculos sobre nuestra vivienda (ver imagen 2 y 3, situación y alrededores de la parcela elegida).



Imagen 2: Ubicación de la vivienda dentro del municipio

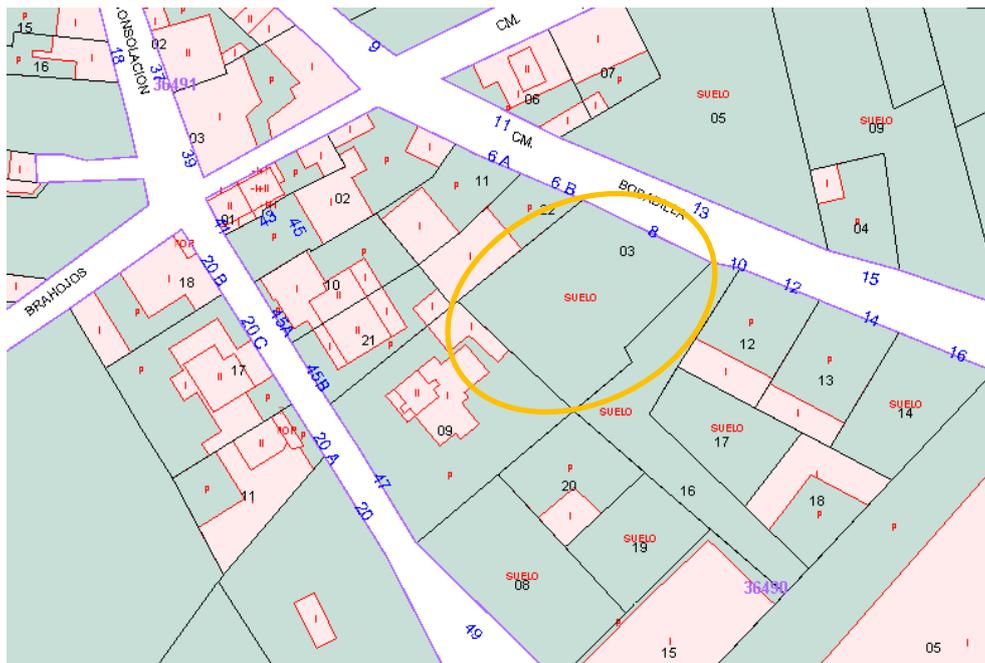
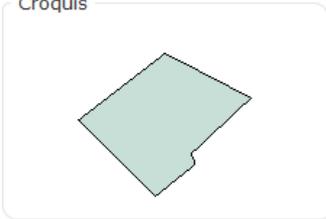


Imagen 3: emplazamiento y alrededores del terreno [3]

PARCELA CATASTRAL 3649003UL2634N

Croquis



Fotografía fachada



CM BOBADILLA 8
CARPIO (VALLADOLID)
846 m²

[Más información de la parcela](#) ▲

INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES Excel

3649003UL2634N0001BF CM BOBADILLA 8 Suelo
Suelo sin edif., obras urbaniz., jardinería, constr. ruinosas | 100,00% | 0

Imagen 4: emplazamiento de la vivienda [3]

3.2.Descripción de la vivienda

La vivienda se plantea, como se ha dicho antes, sobre una parcela en Carpio que consta de 846 m² y de base rectangular. Ésta se encuentra rodeada de otras parcelas edificadas. Teniendo en cuenta la situación de ésta en la Imagen 3, las viviendas colindantes de una planta y la localización de la vivienda en el centro de la parcela, podremos decir que el entorno no representa ningún obstáculo en cuando a sombras sobre la edificación.

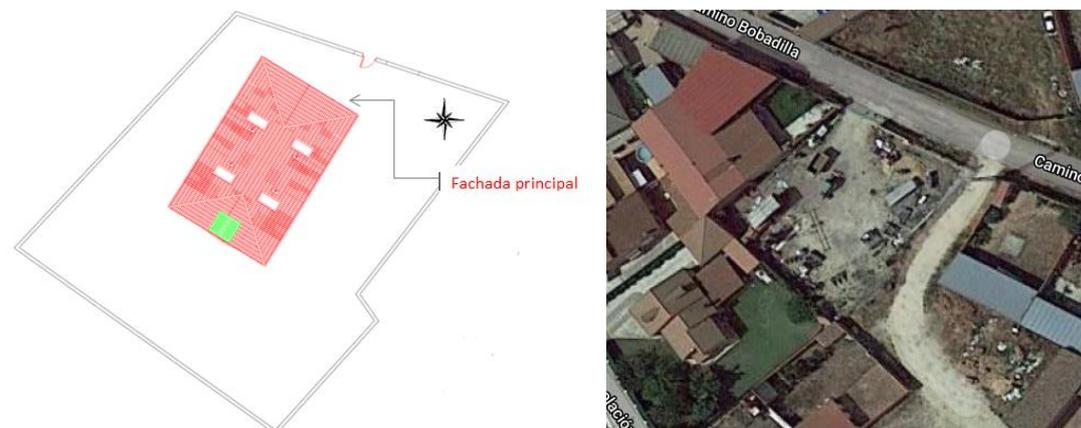


Imagen 4: Izq.: .Situación vivienda construida sobre la parcela. Drcha.: situación de la parcela.

La fachada principal está orientada hacia el noreste en dirección a la calle, como se observa en el plano P4 de cubierta y en la imagen 4.

La vivienda consta de 3 plantas. El acceso a la vivienda se plantea mediante un pequeño porche situado en la fachada noreste, construido sin escaleras, o por una puerta con dos escalones en la fachada trasera. El paso entre las distintas plantas se realiza mediante escaleras en el interior.

	Nombre de la estancia	Superficie útil (interior)	Volumen interior	
		A _i (m ²)	V _i (m ³)	
PLANTA BAJA	Salón	44,90	131,11	
	Cocina	13,53	39,51	
	ESPACIOS ACONDICIONADOS	Hall principal	8,15	23,80
	Habitación 1	11,90	34,75	
	Baño 1	4,08	11,91	
	ESPACIOS NO ACONDICIONADOS	Cuarto de calderas	2,86	9,78
TOTAL PLANTA BAJA		85,42	250,86	
PRIMERA PLANTA	Habitación 2	19,81	48,34	
	Habitación 3	17,46	42,60	
	ESPACIOS ACONDICIONADOS	Habitación 4	22,45	54,78
	Baño 2	6,84	16,69	
	Baño 3	8,66	21,13	
	Hall 2 + Armario	15,25	37,21	
TOTAL PRIMERA PLANTA		90,47	220,75	
SEGUNDA PLANTA	ESPACIOS ACONDICIONADOS	Ático	92,45	169,16
	TOTAL SEGUNDA PLANTA		92,45	169,16
TOTAL ESPACIOS ACONDICIONADOS		269,48	630,99	
TOTAL ESPACIOS NO ACONDICIONADOS		2,86	9,78	
TOTAL VIVIENDA		272,34	640,77	

Tabla 1 distribución de la vivienda repartida por estancias y plantas

La primera planta está formada por dos divisiones en cuanto a la habitabilidad se refiere. La primera zona se corresponde con los espacios habitables y acondicionados donde se ubica la cocina, el salón, un baño y un dormitorio; mientras que la segunda división corresponde con el cuarto de calderas, es decir, con las estancias no habitables ni acondicionadas, como se puede observar en el cuadro de la tabla 1. Toda esta planta supone una superficie útil construida de 85.42 m², dividida entre la zona calefactable con

una superficie de 82.56 m² y una zona no calefactable de 2.86 m². En ambos casos, la altura es de 2.86 m.

En la segunda planta se sitúan el resto de los dormitorios, 3 en este caso, un hall, dos aseos y un balcón. Todo ello genera una superficie útil (sin contar el balcón) de 90,47 m² y cuenta con una altura desde el suelo hasta el techo de 2.44 m, (ver tabla 1).

En la última planta hay un espacio diáfano que se utiliza como estancia multiusos, tabla 1, y está formado por una superficie de 92.45 m² y con una altura variable entre la zona central, donde la altura será máxima, de 2.48 m hasta las laterales donde será mínima, 0.7 m.

La cubierta de la vivienda se construye a cuatro aguas con aleros a lo largo de todo el perímetro de 0.85 m. En esta superficie se sitúa el sistema de captación de la instalación de energía solar.

3.3.Descripción constructiva

En el siguiente apartado se plantean las distintas soluciones constructivas de cada tipo de cerramiento que compone la envolvente térmica de la vivienda.

Como herramientas de apoyo e información gráfica de las diferentes soluciones constructivas se encuentra el plano nº 11 en el cual está detallada la composición de cada una de las secciones y los planos del 20 al 22 del anexo planos donde se puede consultar su ubicación en la vivienda.

Adicionalmente, cabe destacar que los siguientes cerramientos cumplen con las consignas establecidas en el CTE DB HE-1 2020 [4], donde se establecen las limitaciones que debemos de cumplir en base a la transmitancia térmica (U) para cada elemento constructivo, en lo referido al control de la demanda energética de una vivienda de nueva construcción.

Esta demanda térmica se calcula aplicando los procedimientos expuestos en el Código Técnico de la Edificación y en las normas españolas referentes a nuestro estudio: la norma *UNE-EN ISO 6946* [5] para los cerramientos y la norma *UNE-EN ISO 10077-1* [6] para el caso de los huecos.

$$U = \frac{1}{R_T} [W/m^2K] \quad \text{Ec.1}$$

En ambos casos, cerramientos y huecos, aplicaremos la ecuación 1 en la que se calcula la transmitancia térmica (U) en función de la resistencia térmica (R_T) del elemento constructivo, realizando la diferenciación entre los tipos de elementos en la forma de cálculo de esta.

El caso de los elementos opacos utilizamos la ecuación 2 basada en la suma de todas las resistencias al paso del calor de los materiales que componen el cerramiento (R_x) y de las resistencias térmicas superficiales del aire en el interior y exterior del cerramiento (R_{si} y R_{se}). En el caso de las resistencias de los materiales sus valores se encuentran reflejados en el catálogo de elementos constructivos [7] mientras que el caso de las resistencias térmicas superficiales del aire, se encuentran reflejadas en el Documento de Apoyo del CTE DB HE [4].

La resistencia térmica total R_T de un cerramiento constituido por capas térmicamente homogéneas y paralelas se calcula mediante la expresión.

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_{se} \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec.2}$$

Donde la resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión, en la cual se relaciona el espesor de la capa (e_n) con la conductividad térmica del elemento (λ_n):

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec.3}$$

En el caso del cálculo de la transmitancia térmica los huecos (U_H) aplicaremos la ecuación 4 considerando que los distintos materiales no se disponen de forma paralela entre ellos, sino que existen discontinuidades que generan pérdidas de energía. Todas estas discontinuidades se tendrán que tener en cuenta al mismo tiempo que contaremos con las resistencias de los materiales (vidrio (indicado con el subíndice v), marcos (subíndice m), persianas (subíndice p), etc.).

$$U_H = \frac{A_{H,v} \cdot U_{H,v} + A_{H,m} \cdot U_{H,m} + l_v \cdot \psi_v + A_{H,p} \cdot U_{H,p} + l_p \cdot \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}} \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec.4}$$

Dónde:

$U_{H,x}$	La transmitancia térmica del material x $[W/m^2K]$
ψ_y	La transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento de dos materiales $[W/mK]$
$A_{H,x}$	Área del material x $[m^2]$
L_y	Longitud de contacto entre dos materiales $[m]$

3.3.1. Cerramientos verticales

En este punto se exponen los casos de los cerramientos que componen la envolvente térmica en posición vertical, es decir, aquellos que se encuentran en un ángulo superior a 60°C con respecto a la horizontal.

Con esto, los cerramientos verticales que componen la envolvente térmica podremos dividirlos en dos grandes grupos, los cerramientos perimetrales de la vivienda (en contacto con el aire exterior denominado *CVE1*) y los cerramientos del cuarto de calderas (en contacto con espacios no habitables denominado *CVE2*). (Véase Anexo Planos, plano nº 20 para cotejar las zonas habladas sobre los planos constructivos del trabajo).

Cabe destacar que, en primer lugar y como caso general para toda la vivienda, se dispone de un acabado superficial de las paredes interiores mediante enlucido de yeso, correspondiente con las estancias secas de la vivienda, y en segundo lugar se tiene el acabado en azulejo correspondiente para las estancias húmedas como la cocina y los aseos.

- **Cerramiento vertical exterior 1 general (CVE1g)**

El cerramiento principal de todo el perímetro de la fachada está construido siguiendo el esquema del Catálogo de Elementos Constructivos [7] para fachadas de fábricas vistas con cámara de aire no ventilada y aislamiento por el interior, F 1.2, obteniendo la siguiente composición, mostrada de exterior a interior, vista en la imagen 5:

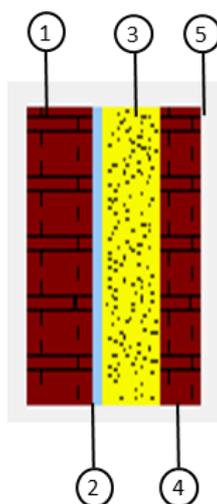


Imagen 5: composición del elemento constructivo *CVE1g*

1. Ladrillo caravista de $\frac{1}{2}$ de pie LP métrico de 11.5 cm
2. Cámara de aire vertical sin ventilar de 2 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido con hidrofluorcarbonatos HFC de 10 cm
4. Ladrillo hueco doble de gran formato de 7 cm
5. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento *CVE1g*: 32 cm.

Con los datos anteriores y aplicando las ecuaciones 1 y 2, el cómputo total de la transmitancia térmica basado en los procedimientos del actual CTE DB HE-1 es el siguiente (ver procedimiento de cálculo en el anexo cálculos):

$$U_{\text{CVE1g}} = 0.203 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Una vez obtenido el valor de la transmitancia, se verifica con la normativa CTE DB HE-1, si cumple con las limitaciones establecidas en el documento. Para el caso de los muros en contacto con el aire exterior se establece un valor límite de $0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$ (zona climática D2), por lo que el cerramiento cumple con las exigencias establecidas.

- **Cerramiento vertical exterior 1 con azulejos (CVE1a)**

Siguiendo el mismo esquema que en el caso anterior (Esquema F 1.2 [4]) con la diferencia del acabado interior final, que se realiza mediante un alicatado de azulejos, se obtiene la siguiente información:

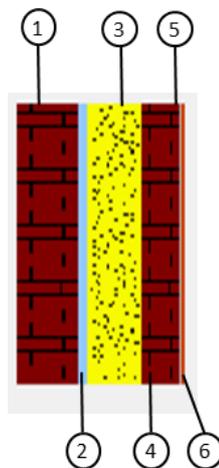


Imagen 6: composición del elemento constructivo **CVE1a**

1. Ladrillo caravista de $\frac{1}{2}$ de pie LP métrico de 11.5 cm
2. Cámara de aire vertical sin ventilar de 2 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido con hidroflocos HFC de 10 cm
4. Ladrillo hueco doble de gran formato de 7 cm
5. Mortero de cemento 0.5 cm
6. Azulejo cerámico 1 cm

Espesor total del cerramiento CVE1a: 32 cm.

A partir de dichos valores, y a través de los cálculos pertinentes, el resultado de la transmitancia térmica es:

$$U_{\text{CVE1a}} = 0.203 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Al igual que en el caso anterior, las limitaciones que se exponen en la normativa concluyen que dicho elemento cumple con los valores establecidos.

- **Cerramiento vertical exterior 2 general (CVE2g)**

En este caso, el cerramiento del cuarto de calderas es un cerramiento un poco más estrecho que el anterior para intentar tener el máximo espacio operativo en el cuarto de calderas, construido dicho elemento bajo el esquema señalado en el Catálogo como F 3.1 [7], mostrada su composición en la imagen 7:

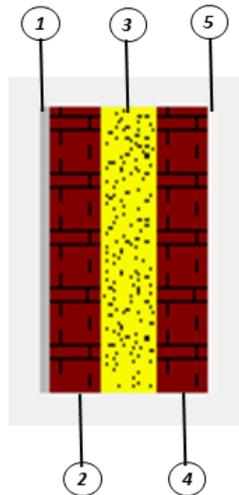


Imagen 7 composición del elemento constructivo CVE2g

1. Mortero de cemento de 1.5 cm
2. Ladrillo hueco doble de gran formado de 7 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido con hidrofluorcarbonatos HFC de 8 cm
4. Ladrillo hueco doble de gran formato de 7 cm
5. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento CVE2g: 25 cm.

En este caso, como se puede comprobar en el anexo de cálculos 2.1.2 para muros en contacto con estancias no acondicionadas, se debe aplicar al valor obtenido de la transmitancia térmica un factor corrector calculado a partir de la relación entre la superficie divisora de las estancias no calefactables y la superficie en contacto con el aire exterior. Como consecuencia de esto los valores de las transmitancias resultan ser las siguientes. Comprobando dichos valores obtenidos con los establecidos límites en el Código Técnico de la Edificación, se concluye que cumple con las exigencias.

$$U_{\text{CVE1a}_1}=0.2136 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{CVE1a}_2}=0.226 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Cerramiento vertical exterior 2 con azulejos (CVE2a)**

De modo idéntico que anteriormente, el cerramiento está construido siguiendo el esquema constructivo F 3.1 [7], con la particularidad del caso anterior del acabado final, en este caso, mediante azulejos cerámicos.

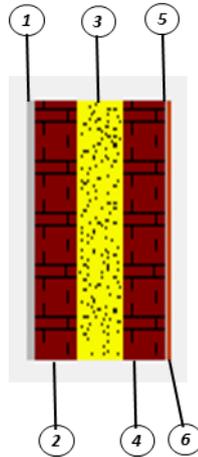


Imagen 8: composición del elemento constructivo CVE2g

1. Mortero de cemento de 1.5 cm
2. Ladrillo hueco doble de gran formato de 7 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido con hidrofluorcarbonatos HFC de 8 cm
4. Ladrillo hueco doble de gran formato de 7 cm
5. Mortero de cemento 0.5 cm
6. Azulejo cerámico 1 cm

Espesor total del cerramiento CVE2a: 25 cm.

De la misma manera que en los casos anteriores, después de los cálculos pertinentes reflejados en el anexo cálculos, el valor de la transmitancia térmica de este cerramiento es el siguiente, cumpliendo con las exigencias de la normativa:

$$U_{CVE2a}=0.2136 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.3.2. Cerramientos horizontales

En este nuevo punto, se exponen las capas y la transmitancia térmica para el caso de los cerramientos horizontales que componen la envolvente térmica, es decir, estamos en el caso en el que los elementos constructivos que tienen un ángulo con respecto a la horizontal, inferior a 60 grados.

En este grupo se engloban los cerramientos horizontales con el aire exterior, en nuestra vivienda estos serán la cubierta (CU) y los forjados en contacto con el aire exterior (CHFUEs), y los cerramientos horizontales en contacto con el terreno (CHS). Todos ellos se muestran en el plano nº 20, 21 y 22 sus localizaciones en la construcción.

Al igual que en los anteriores apartados, para este grupo de cerramientos también dispondremos de varias soluciones constructivas en cuanto al acabado final del suelo. Tendremos por un lado el caso de las estancias húmedas donde el acabado utilizado es baldosa cerámica mientras que para las estancias secas, contaremos con un acabado de listones de madera. A estas dos soluciones, se le ha de añadir una tercera solución que será el acabado visto de mortero o también denominado fratasado.

3.3.2.1. En contacto con el aire exterior

Como se ha comentado anteriormente, en este grupo se engloba la cubierta y los forjados en contacto con el aire exterior como se va a ver a continuación.

- Cubierta (CU)

En cuanto a la cubierta, tenemos que tener claro que es uno de los cerramientos más significativos de toda la vivienda debido a que el calor al ascender de manera natural se concentra en la zona superior de cada una de las estancias. En el caso de las cubiertas, esta estancia se encuentra en contacto con el aire exterior a bajas temperaturas procediendo a disipar una gran cantidad de calor a través de la superficie. A todo esto se le añade que la cubierta cuenta con una gran superficie intercambio, entonces se puede considerar la cubierta como uno de los cerramientos con más pérdidas de energía de toda la vivienda. Es por ese motivo que su aislamiento es una de las partes más importantes a tener en cuenta a la hora de establecer la composición de la cubierta.

Por ese motivo la cubierta cuenta con el máximo aislamiento posible con el fin de minimizar las pérdidas de calor. La solución constructiva de la cubierta se define a partir de los esquemas del catálogo C 11.2 y T05, que se corresponden con una cubierta inclinada con cámara ventilada y aislamiento térmico protegido con un soporte resistente formado por un forjado de elementos de entrevigado cerámicos con aislamiento acústico inferior.

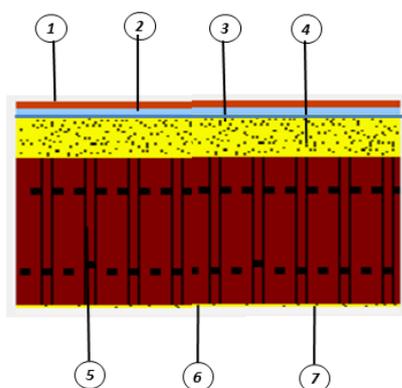


Imagen 9: composición del elemento constructivo CU.

1. Teja cerámica
2. Cámara de aire ventilada horizontal de 5 cm
3. Capa de impermeabilización de PVC de 0.12 cm
4. Aislante térmico de poliestireno expandido de 10 cm
5. Forjado con piezas de entrevigado cerámicas de 35 cm
6. Aislante acústico. Lana mineral de 1 cm
7. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento CU: 58.1cm.

Con toda esta información el valor de la transmitancia térmica de la cubierta, obtenida en el anexo cálculo, aplicando las ecuaciones 1 y 2 es $0.191 \text{ W/m}^2\text{K}$, cumpliendo con la limitación máxima de $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ establecida en la normativa.

$$U_{CU}=0.191 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Cerramiento horizontal en contacto con el aire exterior. Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera (CHFUEs)**

En este caso hablaremos del cerramiento horizontal en contacto con el aire exterior que nos encontraremos en el suelo del ático que cubre el balcón que se ubica en la zona de la fachada principal como se puede observar en el plano N° 23 del anexo planos.

Este cerramiento está construido mediante la unión de dos esquemas del Catálogo de Elementos Constructivos [7]. Por un lado, está el esquema del suelo flotante S01 y por otro lado utiliza el esquema T05 para el techo suspendido con acondicionamiento acústico, como se puede observar en la imagen 10.

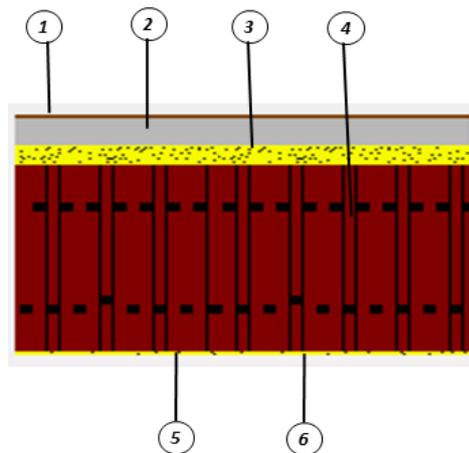


Imagen 10: composición del elemento constructivo CHFUEm.

1. Suelo, panel de madera de 1 cm
2. Mortero de cemento de 5 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido de 4 cm

4. Forjado con piezas de entrevigado cerámicas de 35 cm
5. Aislante acústico. Lana mineral de 1 cm
6. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento CHFUEs: 47.5 cm.

Dicho esto, el resultado obtenido en el cálculo de la transmitancia térmica es:

$$U_{CHFUEs}=0.365 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Verificando el cumplimiento de la normativa para un límite máximo impuesto en el Código Técnico de la Edificación de $0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$, el cerramiento cumple con las especificaciones.

3.3.2.2. En contacto con el terreno

En este nuevo grupo se engloba el cerramiento horizontal que tenemos en contacto con el terreno perteneciente a la envolvente térmica. Al igual que ha pasado anteriormente, en este caso también se puede dividir en tres subgrupos referenciándose al acabado superficial del suelo: acabado en listones de madera, en baldosa cerámica o en mortero de cemento.

- **Cerramiento horizontal en contacto con el terreno con suelo de madera (CHSm)**

El cerramiento horizontal en contacto con el terreno está construido en base al esquema constructivo del Catálogo de Elementos Constructivos ST05 compuesto por un suelo reforzado con inyecciones e impermeabilización. Este esquema constructivo minimiza las pérdidas de calor a través del terreno a mediante un aumento del aislamiento del elemento constructivo.

Por consiguiente y como se muestra en la imagen 11, podemos ver las distintas capas que componen el cerramiento:

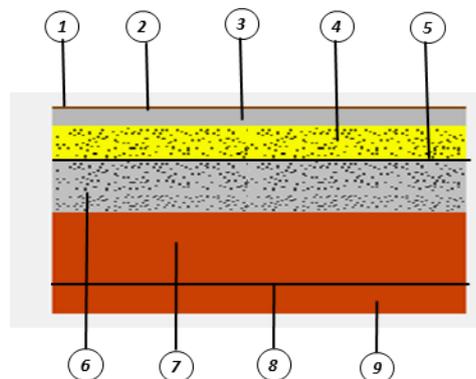


Imagen 11: composición del elemento constructivo CHSm.

1. Suelo de madera de 1 cm
2. Mortero de cemento de 0.5 cm

3. Aislante térmico de poliestireno expandido de 10 cm
4. Hormigón armado de 10 cm
5. Capa de impermeabilización de PVC de 0.12 cm
6. Capa reguladora de hormigón de limpieza de 6 cm
7. Encachado de grava de 10 cm
8. Capa filtrante. Geotextil de poliéster de 0.12 cm
9. Terreno arcilloso

Espesor total del cerramiento CHSm: 62.2 cm.

Apoyándonos como en los otros casos del anexo cálculos apartado 2, se ha obtenido el valor de la transmitancia térmica para esta solera, cumpliendo con la limitación impuesta desde el Código Técnico de la Edificación ($0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$).

$$U_{\text{CHSm}} = 0.248 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Cerramiento horizontal en contacto con el terreno con suelo de baldosa (CHSb)**

De la misma manera, en este caso encontraremos la variante de suelo con baldosa cerámica siguiendo como apoyo de la solución constructiva el esquema ST05 del Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) y con una composición como la que se muestra en la imagen 12:

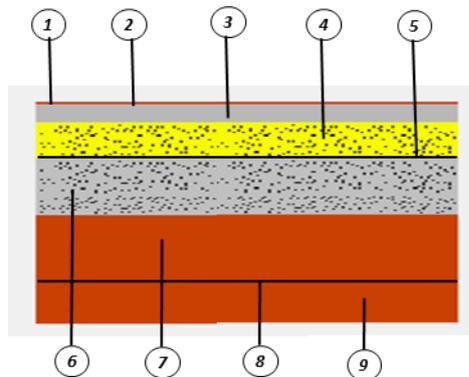


Imagen 12: composición del elemento constructivo CHSb.

1. Baldosa cerámica de 1 cm
2. Mortero de cemento de 0.5 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido de 10 cm
4. Hormigón armado de 10 cm
5. Capa de impermeabilización de PVC de 0.12 cm
6. Capa reguladora de hormigón de limpieza de 6 cm
7. Encachado de grava de 10 cm
8. Capa filtrante. Geotextil de poliéster de 0.12 cm
9. Terreno arcilloso

Espesor total del cerramiento CHSb: 62.2 cm.

Valor obtenido del cálculo de la transmitancia térmica:

$$U_{CHSb} = 0.250 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Con dichos valores y al igual que ocurre en anteriores ocasiones, la transmitancia térmica cumple con las especificaciones marcadas en la normativa.

- **Cerramiento horizontal en contacto con el terreno con acabado de mortero (CHS)**

De nuevo, para este tipo de cerramiento, no solo tenemos la variante de suelo de madera y baldosa, sino que también encontramos un acabado basado en una capa de mortero como se puede observar en la figura 14:

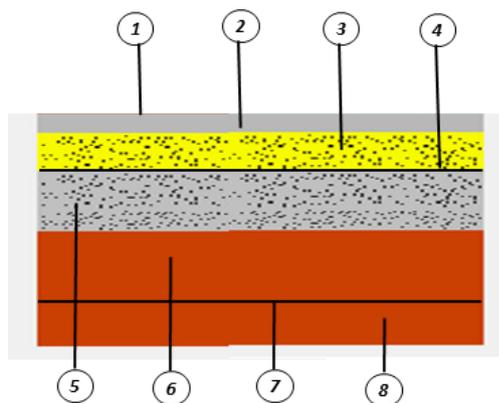


Imagen 14: composición del elemento constructivo CHS.

1. Mortero de cemento de 0.5 cm
2. Aislante térmico de poliestireno expandido de 10 cm
3. Hormigón armado de 10 cm
4. Capa de impermeabilización de PVC de 0.12 cm
5. Capa reguladora de hormigón de limpieza de 6 cm
6. Encachado de grava de 10 cm
7. Capa filtrante. Geotextil de poliéster de 0.12 cm
8. Terreno arcilloso

Espesor total del cerramiento CHS: 61.2 cm.

Con todos los datos anteriores, el cómputo global de la transmitancia térmica para la solera con acabado de mortero de hormigón resulta ser de $0.251 \text{ W/m}^2\text{K}$, valor conforme a las especificaciones:

$$U_{CHS} = 0.251 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.3.3. Particiones interiores

En el caso de las particiones interiores, es necesario aclarar inicialmente que para el Código Técnico de la Edificación estos cerramientos no forman parte de la envolvente térmica pero sí forman parte del modelo energético de

nuestra vivienda. Por ese motivo, aplicaremos el mismo procedimiento para el cálculo de la transmitancia térmica a través de dichas particiones.

Estas particiones interiores serán las encargadas de realizar la separación física de los distintos espacios de la vivienda. Estas se dividen entre horizontales, utilizadas para realizar la separación de las diferentes plantas y verticales que realizan la separación entre las distintas estancias.

3.3.3.1. Verticales

En el caso de las particiones verticales, cabe destacar, al igual que en los anteriores apartados, que aunque solo tengamos un tipo de cerramiento, sí que tendremos dos soluciones constructivas diferenciadas dependiendo del acabado superficial de un lado de la pared, ya esté acabado en azulejo o en enlucido de yeso.

- **Partición interior general (PIg)**

La construcción de esta partición ha sido realizada teniendo en cuenta el esquema del material de apoyo del Catálogo de Elementos Constructivos [7] basado en un tabique de una hoja de fábrica de ladrillo, P1.1, donde la composición se puede observar en la siguiente imagen 13:

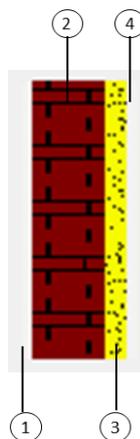


Imagen 13: composición del elemento constructivo P1g.

1. Enlucido de yeso de 1.5 cm
2. Ladrillo hueco doble de gran formado de 9 cm
3. Aislante térmico poliestireno expandido (EPS) de 3 cm
4. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento P1g: 15 cm.

De la misma manera que se ha visto en los anteriores apartados, en el anexo cálculos apartado 2, se puede verificar el cálculo de la transmitancia térmica de dicho elemento siguiendo el procedimiento marcado en el Código Técnico de la Edificación. Estos cálculos conllevan a tener un resultado de:

$$U_{Plg} = 0,596 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En la situación de las particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica, el CTE establece un límite de $0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ que comparándolo con el valor obtenido de la transmitancia térmica del cerramiento, podemos concluir que estamos dentro de las especificaciones.

- **Partición interior con azulejos (Pla)**

Esta partición está construida basándose en el mismo esquema que en el apartado anterior, P 1.1, con acabado en alicatado de azulejo en el lado del tabique que corresponde con una estancia húmeda, en vez de enlucido de yeso, figura 14.

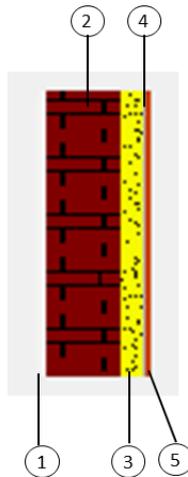


Imagen 14: composición del elemento constructivo Pla.

1. Enlucido de yeso de 1.5 cm
2. Ladrillo hueco doble de gran formado de 9 cm
3. Mortero de cemento de 0.5 cm
4. Azulejo cerámico de 1 cm

Espesor total del cerramiento Pla: 12 cm.

En este caso el valor de la transmitancia térmica de este cerramiento resulta ser:

$$U_{Pla} = 0.601 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Y al igual que en el caso anterior, el límite máximo aceptado es de $0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$, haciendo que nuestro cerramiento cumple con los requisitos.

3.3.3.2. Horizontales

Para concluir con las particiones interiores queda comentar los elementos interiores horizontales que serán los encargados de realizar la separación física de las plantas de la vivienda además de realizar la separación de las distintas plantas. En este caso, y como ha ocurrido en todos los cerramientos, también tendremos que realizar la distinción entre los acabados utilizados en la

construcción de los suelos. Estas particiones se han construido mediante suelo con baldosa cerámica para las estancias húmedas y suelo de madera para las estancias secas como se va a poder verificar a continuación y en el anexo planos, planos nº 20, 21 y 22.

- **Partición horizontal, forjado unidireccional con suelo de madera (CHFUs)**

Como hemos comentado anteriormente, en este caso nos referimos a las divisiones entre las diferentes plantas. Estas han sido definidas siguiendo el esquema constructivo del Catálogo de Elementos Constructivos de la partición interior horizontal uniéndolo a los distintos acabados de suelos y techos. En cuando al esquema del suelo flotante, se ha construido basándose en el esquema S01 [7], mientras que, para el techo, se ha utilizado el acabado T05 con techo suspendido con acondicionamiento acústico, como se puede observar en la imagen 15:

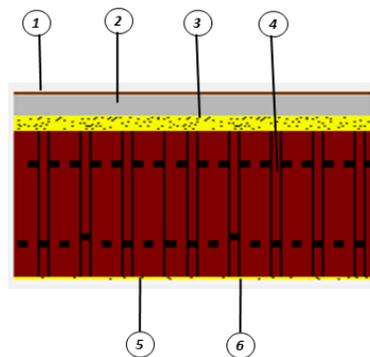


Imagen 15: composición del elemento constructivo **CHFUm**.

7. Suelo, panel de madera de 1 cm
8. Mortero de cemento de 5 cm
9. Aislante térmico de poliestireno expandido de 4 cm
10. Forjado con piezas de entrevigado cerámicas de 35 cm
11. Aislante acústico. Lana mineral de 1 cm
12. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento CHFUs: 47.5 cm.

Basándonos en los cálculos realizados en el apartado 2.1.2. del anexo cálculos, el resultado obtenido para el valor de la transmitancia térmica es:

$$U_{CHFUs} = 0.408 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Realizando la comprobación del cumplimiento del CTE, este nos indica que, para particiones, ya sean verticales u horizontales, el límite se establece en $0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ por debajo de nuestro valor calculado. Por consiguiente, cumplimos con los requerimientos del CTE.

- **Partición horizontal, forjado unidireccional con suelo de baldosa (CHFUb)**

Como en casos anteriores, aquí también tenemos la diferencia entre suelo de baldosa y suelo de madera e igual que para los anteriores casos seguiremos conservando el mismo, véase imagen 16:

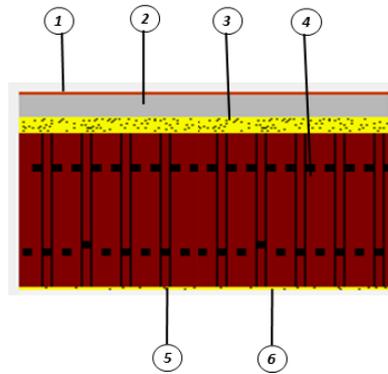


Imagen 16: composición del elemento constructivo **CHFUb**.

1. Baldosa cerámica de 1 cm
2. Mortero de cemento de 5 cm
3. Aislante térmico de poliestireno expandido de 5 cm
4. Forjado con piezas de entrevigado cerámicas de 35 cm
5. Aislante acústico. Lana mineral de 1 cm
6. Enlucido de yeso de 1.5 cm

Espesor total del cerramiento CHFUb: 47.5 cm.

Y el valor de la transmitancia térmica corresponde con:

$$U_{\text{CHFUb}} = 0.415 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Realizando la verificación del CTE. Comprobamos que con el límite de $0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ cumplimos con las exigencias.

3.3.4. Huecos

En este apartado englobaremos el resto de elementos que intervienen en la composición de la envolvente térmica. Todos estos tienen la particularidad de poseer en su composición elementos semitransparentes y cierta permeabilidad a la entrada del aire.

Debido a esto, a la hora de especificar los materiales que componen estos huecos, tenemos que tener en cuenta las propiedades térmicas de material que compone el marco y de la parte semitransparente formada por vidrio.

Aunque si bien es cierto lo comentado anteriormente que los huecos se componen por parte semitransparente y de marco, en este apartado incluiremos las puertas compuestas de madera al 100%.

3.3.4.1. Verticales

A continuación, dividiremos los huecos verticales entre puertas y ventanas.

- Ventanas

En el caso de las ventanas, cabe destacar que nos referimos en este apartado a los huecos semitransparentes situados en los cerramientos verticales de la envolvente térmica.

Estos huecos se componen de elementos semitransparentes con cristales aislantes con vidrio laminar de baja emisividad ($\epsilon < 0.03$) en posición vertical y espesor 4-15 (3+3...6+6,a), y marcos de PVC de tres cámaras con una relación entre el vidrio y el marco del 20% y un retranqueo de 0.1 m.

Otro factor a tener en cuenta en los huecos es el dispositivo de sombra móvil. Todas ellas cuentan con un sistema de sombra compuesto por persianas situadas en el exterior de color oscuro. Véase imagen de este detalle en la imagen 17

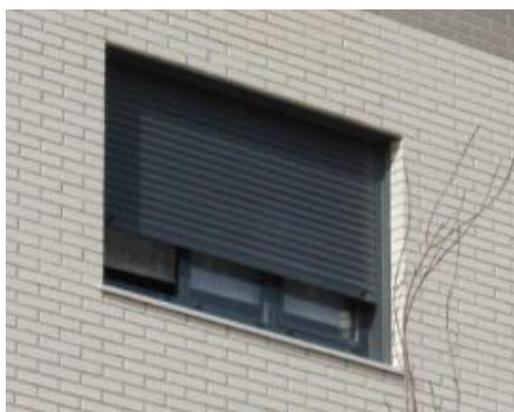


Imagen 17 Detalle persiana por el exterior de la ventana.

Dicho esto, acudiendo al documento de Anexo Cálculos apartado 2.2 Huecos se obtiene el valor de la transferencia de calor en las ventanas.

		Dimensiones m x m	Vidrios	Marcos	% marco	Sist. sombra	U_H W/m ² ·K
Vcoc	Ventana cocina	2x1,3					1,63
Vhab1_1	Ventana hab	2,2x1,3					1,63
Vhab1_2	Ventana hab	2,2x1,3	Vidrio aislante				1,63
VSa1_1	Ventana salón	2,2x1,3	con vidrio laminar baja	PVC	20%	Persianas color oscuro	1,63
VSa1_2	Ventana salón	3,85x1,3	emisividad $\epsilon < 0,03$				1,63
Vhab2	Ventana hab 2	2,2x1,3					1,63
Vbañ2	Ventana Baño2	0,35*2,2					1,63
Vhab4	Ventana hab 4	2,2x1,3					1,63
Vbañ3	Ventana Baño 3	1,5x1,3					1,63

Tabla 2 Resumen transmitancia térmica de las ventanas.

En el caso de las ventanas, al igual que para los cerramientos opacos, es necesario verificar el cumplimiento de los límites de transmitancia termina del CTE. En este caso, el límite establecido para las ventanas es de 1.8 W/m²K, valor por encima de la transmitancia obtenida en el caso de las ventanas, por lo que podremos asegurar que estamos dentro del cumplimiento de la norma.

- Puertas

Para el caso de las puertas tendremos varios grupos a diferenciar a la hora de clasificarlas. En primer lugar, se encuentran las puertas sin acristalamiento (puertas interiores, puerta entrada principal y puerta del cuarto de calderas) y en segundo lugar, las puertas acristaladas que tienen un comportamiento similar a las ventanas debido al porcentaje de acristalamiento que poseen y a la presencia de persianas en ellas.

Para el primer grupo donde solo contamos con el material de la puerta, no tenemos superficie semitransparente, compuesto en su totalidad por madera de densidad media-baja con una transmitancia térmica de 2 W/m²·K como se recoge en la tabla 3.

En el caso de las puertas acristaladas, al igual que para las ventanas, tienen vidrios aislantes con vidrio laminar de baja emisividad ($\epsilon < 0.03$) en posición vertical y espesor 4-15 (3+3...6+6,a), con un marco de PVC de tres cámaras. En cuanto al porcentaje entre el vidrio y el marco en este caso tenemos dos variantes, las puertas del balcón tienen una relación del 20% y la trasera del salón de un 53%. En ambos casos contarán con persianas por el exterior, siendo el mismo sistema que en la imagen 17 de las ventanas.

Con todo esto y guiándonos de los planos de detalles Anexo Planos, plano nº 5 y 6 y complementando la información con el Anexo Cálculos apartado 2.2 huecos, se recoge la siguiente información:

		<u>Dimensiones</u>	<u>Vidrios</u>	<u>Marcos</u>	<u>%</u>	<u>U_H</u>
		<u>mxm</u>			<u>marco</u>	<u>W/m²·K</u>
PEP	<i>Puerta entrada principal</i>	0,89x2,1		Madera	100	2
Pint	<i>Puertas interiores</i>	0,72x2,1	-	baja densidad	100	2
PCC	<i>Puerta cuarto caldera</i>	0,89x2,1			100	2
PET	<i>Puerta entrada trasera</i>	0,89x2,1	Vidrio aislante con vidrio laminar baja emisividad		53	1.77
Pbal	<i>Puerta balcón</i>	1,5x2,1	$\epsilon < 0,03$	PVC	20	1.63

Tabla 3 Resumen Puertas

Como se ha estado realizando hasta ahora, necesitamos verificar la conformidad de estos huecos con respecto al Técnico de la Edificación. En este caso la norma establece que para puertas compuestas por menos del 50% de superficie semitransparente el límite se establece en $5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ mientras para las que si tengan ese 50% de superficie el límite baja hasta $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. En nuestro caso, en ambos casos cumplimos con las especificaciones.

3.3.4.2. Horizontales

En el caso de los huecos horizontales tenemos los lucernarios que se caracterizan por tener una inclinación inferior a 60° con respecto a la horizontal. Estos se ubican en la cubierta aportando la luz necesaria al ático.

De la misma manera que ocurría anteriormente para las ventanas, los lucernarios se caracterizan mediante las propiedades térmicas de los materiales que componen los marcos y los vidrios. En cuanto a los vidrios, se ha utilizado cristales aislantes con vidrio laminar de baja emisividad ($\epsilon < 0.03$) en posición horizontal y espesor 4-15 (3+3...6+6,a), con un marco de PVC de tres cámaras, una relación entre el vidrio y el marco del 20%.

En cuanto al dispositivo de sombra móvil, al igual que las ventanas, estas están compuestas por persianas por el exterior de color oscuro del mismo modo que las ventanas y puertas acristaladas, como se puede observar en la imagen inferior 18.



Imagen 18 Detalle persiana por el exterior del lucernario.

Dicho esto, acudiendo al documento de Anexo Cálculos apartado 2.2 Huecos se obtiene el valor de la transferencia de calor en las ventanas.

		Dimensiones	Vidrios	Marcos	% marco	Sistema sombra móvil	U_H
		m x m					$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$
Vati	Ventana ático	2x1	Vidrio aislante con vidrio laminar baja emisividad	PVC	20%	Persianas color oscuro	2.40

Tabla 5 Resumen transmitancia térmica de lucernarios

Comprobando el cumplimiento de la normativa CTE vemos que para las ventanas y lucernarios la transmitancia límite es $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Con este valor comprobamos que no cumplimos con el CTE para el caso de estos huecos. Sin embargo, se ha tomado la decisión de mantener dichas ventanas si la transmitancia global del edificio cumple con los requerimientos.

Además de la transmitancia térmica de todos los huecos, en este grupo se deberá comprobar el cumplimiento de otros parámetros relacionados con estos. Estos son el control solar y la permeabilidad del aire.

Con respecto al control solar se ha de tener en cuenta que esta consigna representa la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($Q_{sol:jul}$) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A_h).

$$q_{sol:jul} = \frac{Q_{sol:jul}}{A_H} \quad \text{Ec.5}$$

Para este cálculo además de existir la posibilidad de realizar el cálculo mediante fórmulas se tiene la posibilidad de realizar los cálculos mediante la herramienta unificada del Código Técnico de la Edificación HULC. Utilizando esta herramienta como forma más sencilla y precisa y teniendo en cuenta que todos los huecos poseen sombre móvil por el exterior y las ventanas y puertas de la vivienda están construidas con un retranqueo de $0,1 \text{ m}$ y los lucernarios están contruidos sin ello, el resultado del control solar es de $0.57 \text{ kWh/m}^2\text{mes}$ para un límite de $2 \text{ kWh/m}^2\text{mes}$ según el CTE. Por ese motivo, podremos decir que el control solar cumple con las especificaciones de la norma.

En el siguiente caso, el caso de la permeabilidad de aire, este vendrá dado por la siguiente ecuación 6 dependiente de dos coeficientes de caudal de aire C , uno para las superficies opacas (subíndice o) y otro para los huecos (subíndice h) además de sus respectivas áreas, A , y el volumen de la vivienda.

$$n_{50} = 0.629 \cdot \frac{C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h}{V} \quad \text{Ec.6}$$

Aplicando esta ecuación y teniendo como apoyo de cálculo la herramienta unificada HULC, el resultado para la vivienda resulta de 5.68 1/h para un límite de 6 establecido en CTE. Teniendo en cuenta este resultado, podremos decir que cumplimos con la norma establecida.

4. Estudio necesidades

De acuerdo al objetivo establecido anteriormente del proyecto, se necesita conocer en este punto las necesidades a cubrir mediante el sistema de energía que estableceremos al final.

Para llevar a cabo este estudio, lo primero que deberemos conocer es la demanda térmica y de agua caliente sanitaria necesaria a cubrir en nuestra construcción y a partir de ahí, calcular la necesidad mínima de potencia necesaria para abastecer al 100% nuestras necesidades, valor que utilizaremos posteriormente para la elección de nuestro sistema de energía en apartados posteriores.

4.1.Demanda de calefacción

La demanda de calefacción se obtiene a partir del diseño de la vivienda y sus soluciones constructivas. La configuración geométrica y constructiva del caso de estudio nos dará la cantidad de energía que se pierde a través de la envolvente térmica y que deberemos aportar a la vivienda para evitar que la temperatura del interior de esta descienda por debajo de la temperatura de confort o de diseño interior según el RITE [8].

En este momento se debe diferenciar entre los dos tipos de cálculo a realizar: el cálculo de la demanda en régimen transitorio y en régimen permanente. La primera corresponde con la demanda energética mensual calculada a partir de las herramientas del Código Técnico de la Edificación como es el HULC [1] que da a conocer la demanda de calefacción y refrigeración, mientras que la segunda se basa en la demanda energética en régimen permanente, o lo que es lo mismo, la demanda punta en el caso más desfavorable necesaria para dimensionar el sistema de calefacción.

En el primer caso, a la hora de obtener los requerimientos de energía energética mensual basados en los datos de la envolvente térmica anteriores, se necesita conocer la ubicación de la construcción (municipio y sus características climáticas), sus características funcionales (el número de plantas que componen la construcción, geometría, estancias, si son estancias habitables o no, orientación respecto al norte, etc.), sus características constructivas (composición de los cerramientos) y sus características operacionales.

Una vez obtenidos dichos datos e incluidos en las herramientas informáticas establecidas por el Código Técnico de la Edificación (HULC), se podrá calcular los requerimientos energéticos del caso de estudio. Podremos conocer las necesidades térmicas de la vivienda especificadas mensualmente y por estancia, como se comprueba en la tabla 4. En ella podemos comprobar

que las necesidades de calefacción tienen lugar en los meses donde las temperaturas exteriores son más bajas (meses de otoño e invierno) mientras que en meses de verano, la necesidad de aportación térmica es nula.

	Superficie (m²)	Enero (kWh/m²)	febrero (kWh/m²)	Marzo (kWh/m²)	Abril (kWh/m²)	Mayo (kWh/m²)	Junio (kWh/m²)
Cocina	13,530	8,531	5,601	3,023	0,202	0,031	0,000
Habitación 1	11,900	12,058	7,913	4,569	0,586	0,060	0,000
Baño 1	4,080	6,425	4,982	3,695	0,460	0,059	0,000
Salón	44,900	4,976	2,289	1,228	0,067	0,024	0,000
Hall principal	8,150	6,805	4,710	2,848	0,196	0,026	0,000
Habitación 2	19,810	5,716	3,632	1,699	0,000	0,000	0,000
Habitación 3	17,460	6,112	3,179	1,080	0,000	0,000	0,000
Baño 2	6,840	3,567	1,800	0,779	0,000	0,000	0,000
Habitación 4	22,450	2,932	0,834	0,263	0,000	0,000	0,000
Baño 3	8,660	4,331	1,028	0,294	0,000	0,000	0,000
Ático	92,450	1,909	0,527	0,044	0,000	0,000	0,000

	Julio (kWh/m²)	Agosto (kWh/m²)	Septiembre (kWh/m²)	Octubre (kWh/m²)	Noviembre (kWh/m²)	Diciembre (kWh/m²)
Cocina	0,000	0,000	0,000	0,938	4,521	8,539
Habitación 1	0,000	0,000	0,000	1,246	7,184	12,069
Baño 1	0,000	0,000	0,000	1,138	3,893	6,263
Salón	0,000	0,000	0,000	0,792	1,441	4,903
Hall principal	0,000	0,000	0,000	0,949	3,503	6,746
Habitación 2	0,000	0,000	0,000	0,242	1,957	5,685
Habitación 3	0,000	0,000	0,000	0,202	1,894	6,257
Baño 2	0,000	0,000	0,000	0,285	0,285	3,609
Habitación 4	0,000	0,000	0,000	0,326	0,401	2,754
Baño 3	0,000	0,000	0,000	0,555	0,605	-4,061
Ático	0,000	0,000	0,000	0,000	0,182	1,934

Tabla 4 Aportación energética sistema de calefacción por estancia

Partiendo de esta tabla anterior, podremos obtener las necesidades globales de la vivienda divididos mensualmente que se deberá aportar mediante el sistema de calefacción.

Aporte energía sistema calefacción (kWh)	
Enero	1088,22
Febrero	547,60
Marzo	259,06
Abril	16,21
Mayo	2,67
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
Octubre	97,81
Noviembre	360,67
Diciembre	1011,87
Total	3384,1

Tabla 5 Energía térmica a aportar por el sistema de calefacción calculado en régimen transitorio

En el caso de cómputo de las necesidades puntuales a partir de las cuales se realiza el dimensionado del sistema de calefacción, se ha tenido en cuenta los procedimientos de cálculo mostrados según la normativa vigente en el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación 2020 [4], así como las normas UNE-EN ISO 6946 [5] para los elementos opacos y la UNE EN-ISO 10077-1[6] para las ventanas y puertas, basándose en las temperaturas más desfavorables sufridas en el municipio y la temperatura de diseño interior elegida como se puede comprobar en el apartado 2 del anexo cálculos.

En este cómputo, inicialmente deberemos establecer la temperatura interior de la vivienda a partir de la cual basaremos nuestros cálculos. Esta temperatura será la denominada temperatura de diseño interior definida en el RITE [8] con el fin de obtener en el interior de la vivienda un bienestar térmico de habitabilidad. En nuestro caso, los cálculos los hemos realizado para una temperatura de diseño de 23°C. Sin embargo, bien es cierto que en el Código Técnico de la Edificación y en el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE [9] se establece que la temperatura interior de referencia en función del ahorro energético debería ser de 20 °C. La elección de dimensionado ha sido tomada teniendo en cuenta el caso más desfavorable posible, cuando la temperatura interior es la más alta posible y necesitemos aportar más calor a las estancias para mantener la temperatura interior.

La temperatura exterior que escogeremos será la mínima acontecida en el municipio con un percentil del 99 % según el IDAE [9], como se explica en el anexo cálculos, apartado 1 correspondiente con una temperatura de -5.1 °C.

Una vez establecidos los antecedentes deberemos comenzar con los cálculos de las pérdidas de energía. En este caso, se considera que no existen ganancias térmicas ya que estamos dimensionando la vivienda bajo la premisa del caso más desfavorable.

Con todo ello, comenzamos con el cálculo, estancia por estancia, de las pérdidas de energía en el caso de régimen permanente de transferencia de calor, o lo que es lo mismo, el caso cuando la temperatura exterior es la más desfavorable. En esta evaluación se tendrá que tener en cuenta que existen tres tipos de pérdidas de energía que tendremos que distinguir a la hora de realizar los cálculos. En primer lugar, se tiene las pérdidas a través de los cerramientos, en segundo lugar, las pérdidas debidas a los puentes térmicos y en tercer lugar las pérdidas por ventilación ocasionadas por la renovación del aire del interior de la vivienda por aire nuevo a la temperatura exterior.

En el caso de las pérdidas por transmisión de calor, tendremos que tener en cuenta la orientación de cada uno de los cerramientos (Coeficiente C_1 dependiente de este factor), el área (A_k), el coeficiente de intermitencia de utilización del sistema de calefacción (C_2) y las temperaturas de consigna establecidas anteriormente como se extrae del IDAE [9]. Con todo ello y aplicando la ecuación 7 podremos cuantificar el montante de las pérdidas por transmisión de calor. En este caso de 4903 W.

$$Q_v = U_k \times A_k \times C_1 \times C_2 \times (T_i - T_e) \quad \text{Ec.7}$$

En el cálculo de los puentes térmicos (ϕ_T), hay que tener en cuenta las pérdidas como consecuencia de la interrupción del material, ya sea debido por finalización del cerramiento o por encuentro con otro elemento constructivo que hace que tenga que interrumpir dicha construcción. Estas interrupciones son zonas propensas de fugas de energía si no se consigue aislar o realizar las interrupciones de la más eficaz posible.

Según el diseño de la vivienda y aplicando la ecuación 8 donde se ha de tener en cuenta el tipo de puente térmico que tenemos: si es de superficie (tendremos en cuenta la transmitancia de superficie (U_i) y el área (A_i)), lineal (transmitancia de lineal (ψ_j) y longitud (L_j)) o puntual (transmitancia puntual (χ_k)), obtenemos un valor de los puentes térmicos en nuestra construcción de 876 W.

$$\phi_T = \left(\sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_j \cdot L_j + \sum \chi_k \right) (T_i - T_e) \quad [\text{W}] \quad \text{Ec.8}$$

Y para finalizar se procede al cálculo de las pérdidas de ventilación, donde se necesita obtener inicialmente el caudal necesario a ventilar en cada una de las estancias con el fin de obtener el valor del flujo de aire de toda la vivienda según como se establece en el Código Técnico de la Edificación en el apartado de salubridad [10] y calculado en el apartado 2.1.3.1 del anexo cálculos obteniendo un caudal de 40 l/s.

Por lo tanto, aplicando la ecuación 9 dependiente del caudal de ventilación (\dot{V}_{min}) y de las temperaturas de diseño (T_i) y exterior de la vivienda (T_e) utilizada en el anexo cálculos, el valor de carga por ventilación total obtenido es 2833 W.

$$Q_v = 0.3489 \times \dot{V}_{min} \times (T_i - T_e) \quad \text{Ec.9}$$

Con todo esto, podremos decir que las pérdidas por estancia vienen recogidas en la tabla 6.

<i>Estancia</i>	<i>Carga térmica de</i>
	<i>diseño</i>
	Q_T
	<i>W</i>
Cocina	855,40
Habitación 1	816,13
Baño 1	531,58
Salón	1453,16
Hall principal	199,71
Habitación 2	620,12
Habitación 3	595,62
Baño 2	561,69
Habitación 4	704,16
Baño 3	594,39
Ático	1610,62
Total	8612,79

Tabla 6 Energía térmica a aportar por el sistema de calefacción calculado en régimen permanente

4.2.Demanda de ACS

En el cálculo de la demanda de ACS nos apoyaremos en la documentación recogida del Anejo F del documento de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación 2020 [4].

En primer lugar, este documento nos establece que la temperatura de referencia para el ACS es de 60°C y a partir de esa consigna nos pide obtener la demanda necesaria de la vivienda. Esta vendrá determinada por el número de dormitorios y personas que habitarán en ella. En nuestro caso, la vivienda cuenta con 4 dormitorios por lo que el número de personas para la cual está

diseñada nuestra casa es para 5, se considera que cada persona consumirá 28 l/día por lo que el consumo de ACS será de 140 l/día.

$$Q_{ACS} = D_{ACS} \cdot C_p \cdot (T_{ref} - T_{AF}) \quad [W] \quad \text{Ec.7}$$

A partir de dicho valor, se podrán realizar los cálculos de la demanda de energía para calentar la demanda de ACS, utilizando la ecuación 7 basada en las temperaturas de agua fría (T_{AF}) y de referencia dada en CTE (T_{ref}) mensuales y la demanda de agua (D_{ACS}) a 60°C, como se puede observar en el apartado 3 del anexo cálculos. Los resultados que obtendremos vendrán dados por meses debido a que dependen de las características climáticas del municipio:

	Q_{ACS}
	W
Enero	369,08
Febrero	355,51
Marzo	348,72
Abril	341,94
Mayo	328,37
Junio	308,02
Julio	287,66
Agosto	287,66
Septiembre	301,23
Octubre	328,37
Noviembre	348,72
Diciembre	362,29
Total=	3967,57

Tabla 7 Demanda de energía para calentar la demanda de ACS

4.3. Potencia máxima necesaria

Con todo lo expuesto anteriormente, una vez que tenemos calculadas todas las cargas térmicas de los distintos recintos necesitaremos conocer la potencia mínima requerida para poder cubrir la demanda de calor de la vivienda.

En ese sentido, la potencia máxima necesaria vendrá dada por la energía necesaria para satisfacer la demanda de calefacción en el momento cuando se alcance la temperatura más baja, tabla 6, y la demanda de agua caliente sanitaria de la vivienda en el mes más desfavorable, en nuestro caso el mes de enero como se puede comprobar en la tabla 7, más un porcentaje de seguridad que impondremos de un 5%, como se puede observar en la tabla 8.

	<i>Demanda energética calefacción [W]</i>	<i>Demanda energética ACS Enero [W]</i>
	8576,46	369,08
Total	8945,53	
+5%	447,28	
<i>Total necesidades</i>	<i>9392,81W</i>	

Tabla 8 Resumen demanda energética

Como resultado de estos cálculos se obtiene una necesidad de potencia para la instalación de 9.5 kW.

5. Descripción de las instalaciones y elementos del sistema.

En este apartado, nos encargaremos de plantear el sistema de generación de calor basado en una instalación de energía solar térmica y poner el punto de atención a los cuatro tipos de energía auxiliar que planteamos en este proyecto que son objeto de estudio.

La instalación de la vivienda viene restringida por las recomendaciones o exigencias que se establecen en el Código Técnico de la Edificación de 2020 en la Sección HE 4 del Documento Básico del Ahorro de Energía [4]. En este documento, se nos establece la obligatoriedad de contar con un sistema de energía renovable que cubra como mínimo un porcentaje de la energía necesaria para abastecer el consumo de ACS. Este porcentaje para las viviendas con un consumo de ACS menor a 5000l/d situadas en la provincia de Valladolid, será del 60% de la demanda anual.

Si bien es cierto que la instalación de energía renovable no siempre suministrará un porcentaje constante de calor al sistema, en los meses de verano, el suministro de calor al sistema podrá llegar a cubrir el 100% de la demanda de ACS (no tenemos consumo de calefacción), mientras que para el resto de meses, la energía aportada por el sistema solar no será suficiente para cubrir nuestra demanda completa de ACS y calefacción, por lo que necesitaremos contar con un sistema de energía auxiliar que nos proporcione el déficit energético necesario.

En el caso de los meses de verano donde tengamos un excedente de producción de energía solar térmica, según se plantea en el CTE, deberá tomarse la decisión de qué medida tomar: dotar a la instalación de la posibilidad de disipar los excedentes, el tapado parcial de los captadores para disminuir la producción de energía, el desvío de los excedentes a otras aplicaciones o el vaciado parcial del sistema. Decisión que se tomará en próximos apartados.

Con todo lo dicho anteriormente, en nuestra vivienda tomaremos como punto de partida el uso de un sistema de energías renovables basado en un sistema de captación mediante placas solares. Este tipo de instalación está compuesta por 5 sistemas que desarrollaremos en los siguientes apartados.

Basándose en la imagen 17, se puede observar que los cinco sistemas hablados son: el sistema de captación, el de intercambio, el de acumulación, de apoyo y de control, conectados entre ellos por diferentes circuitos: el circuito primario, el secundario, el terciario o de consumo y el circuito eléctrico del sistema de control.

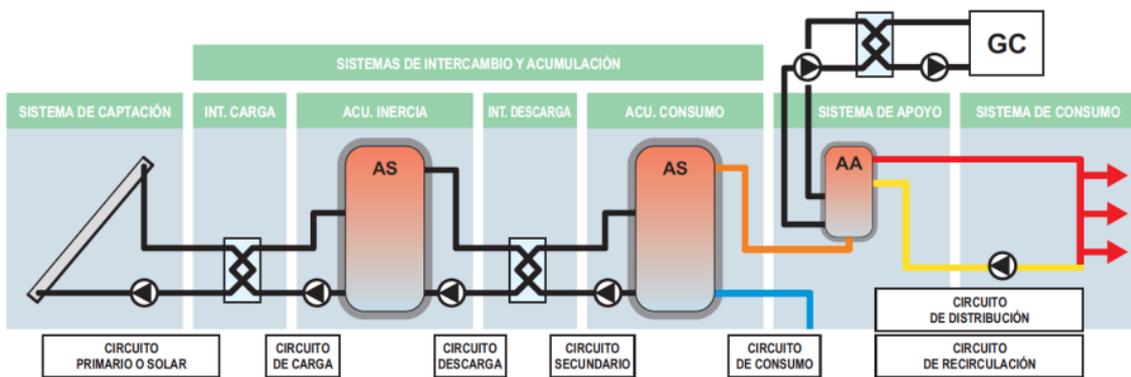


Imagen 17: Esquema genérico de instalación de energía solar térmica [11].

5.1. Sistemas de captación e intercambio

En este apartado trataremos en conjunto el sistema de captación con el de intercambio a consecuencia de las funciones que realizan dentro de la instalación. Es decir, estos dos sistemas son los encargados de captar toda la energía liberada del sol y transportarlos al sistema de acumulación para donar el calor captado al uso de agua caliente de la vivienda. Normalmente, estos sistemas se componen de dos circuitos cerrados independientes: el circuito primario es el encargado de transportar la energía calorífica captada a través de los paneles solares para cederla al circuito secundario a través del sistema de intercambio energético. Este circuito secundario es por lo tanto, el encargado de transportar y ceder la energía hasta el sistema de acumulación térmica donde se mantendrá almacenada hasta su uso, como se observa en la imagen 17.

Esta instalación implantada comenzará inicialmente por el sistema de captación mediante placas solares donde la radiación solar procedente del sol calentará un fluido caloportador con el fin de poder aprovecharlo mediante el sistema de intercambio de calor como agua caliente sanitaria y calefacción en nuestra vivienda.

En nuestro circuito simplificaremos estos dos sistemas en un solo circuito conectado a un acumulador solar. Este acumulador está compuesto en su interior por un intercambiador de calor con el que abastece directamente la energía a los dos depósitos interiores calentando directamente el agua de ACS y el de calefacción como se puede ver en el esquema de la figura 18. Con este nuevo esquema conseguimos eliminar el circuito secundario integrándolo dentro del acumulador.

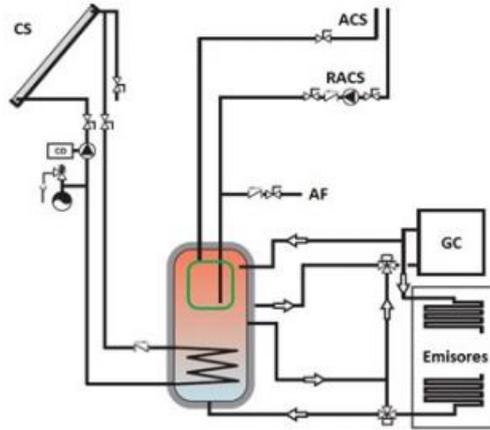


Imagen 18: Esquema de instalación con acumulador solar único ("combi") para ACS y calefacción integrada en el propio acumulador [11].

5.1.1. Instalación propuesta

Una vez planteados los antecedentes de los sistemas de captación solar e intercambio y apoyándonos del CTE DB HE 4 [4] y en la Guía Técnica de Energía Solar del IDAE [12], comenzaremos conociendo las pérdidas de captación de radiación solar que conllevan la instalación de solar sobre nuestra vivienda. Estas corresponden con las pérdidas de orientación e inclinación debidas a la situación de la instalación y que se calculan en el apartado 6 del anexo cálculos según la guía de dicha documentación teniendo en cuenta que no debe sobrepasar un valor determinado dado en el primer escrito.

Teniendo en cuenta estas limitaciones y las recomendaciones de la bibliografía consultada, este sistema estará situado sobre la cubierta orientado lo más al sur posible con el fin de favorecer al máximo la captación solar y disminuir las pérdidas y buscará integrar arquitectónicamente los captadores buscando soluciones con la mayor inclinación de estos para conseguir aumentar la captación en invierno. Es por esos motivos, que la instalación se colocará con una orientación de 32° (denominado ángulo azimut) y una inclinación de 25° sobre la horizontal (ángulo de inclinación), misma pendiente que la cubierta conllevando a alcanzar unas pérdidas del 6.66%, valor inferior a las limitaciones.

Por otro lado, las pérdidas debidas a las sombras se han considerado nulas bajo el estudio de soleamiento realizado en el anexo cálculos ya que no se encuentra ningún obstáculo con los edificios o vegetaciones adyacentes que puedan provocar una disminución del área y de la captación solar de las placas.

Una vez definidas las pérdidas y utilizando como herramienta de apoyo el programa para la validación del cumplimiento del HE4 de instalaciones solares térmicas del IDAE, CHEQ4 [13], podremos calcular el número mínimo de placas solares y dimensionar nuestra instalación de captación para alcanzar los

límites establecidos de cobertura de energía mediante un sistema de captación solar.

5.1.1.1. Captadores solares

Se comenzará esta caracterización mediante la elección de los captadores solares. Esta elección ha sido tomada por la necesidad de buscar placas con rendimientos altos, de gran eficiencia y compatibles con sistemas auxiliares para cubrir la demanda de ACS y calefacción a la vez y con la posibilidad de integrarlas sobre la tipología de nuestra cubierta.



Imagen 19 Captadores solares TOP FKT-1S [14].

Las características de dichas placas se presentan en la siguiente tabla:

Modelo	FKT-1 S Vertical
Dimensiones (mm)	1.145 x 2.070 x 90
Área total	2,37 m ² .
Área de apertura	2,25 m ²
Área del absorbedor	2,23 m ² .
Volumen del absorbedor	1,43 L.
Peso en vacío	44 kg.
Presión trabajo máxima:	10 bar.
Caudal nominal:	50 l/h.
Material de la caja	Fibra de vidrio, con esquinas de plástico y chapa de acero tratada con aluminio y zinc.
Aislamiento:	Lana mineral de 55 mm de espesor.
Recubrimiento absorbedor	PVD.
Circuito hidráulico:	Doble serpentín.
Rendimiento	0,811.
Coef. pérdida lineal	3,653 W/m ² K.
Coef. pérdidas secundario	0,0146 W/m ² K ² .

Tabla 9 Características del captador solar FKT-1S

Finalmente, entre los fabricantes de placas solares, las elegidas son las FKT-1S a causa del circuito de doble serpentín que le proporciona a las placas solares una alta eficiencia de captación de radiación solar aun en las condiciones más desfavorables como se puede ver en la curva de rendimiento del captador de la imagen 20.

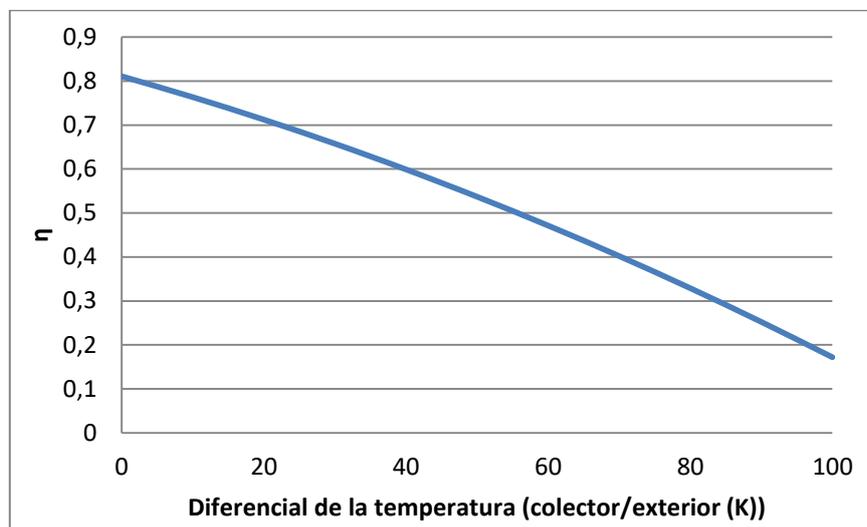


Imagen 20 Características captador solar FKT-1S

5.1.1.2. Fluido de caloportador

El fluido caloportador que necesitamos en nuestro circuito es importante elegirlo teniendo en cuenta las condiciones adversas que sufrirá en invierno conociendo que en este municipio alcanzamos temperaturas de hasta (-5.2°C). Por ese motivo tendremos que elegir un fluido que a la temperatura de diseño de nuestra vivienda no se congele y sea compatible con nuestro sistema de captadores elegidos.

Entre las distintas posibilidades que se nos presentan en el mercado, las más utilizadas en estos sistemas son el *etilenglicol* y el *propilenglicol*. Ambos son compuestos orgánicos de la familia de los alcoholes que pueden llegar a soportar sin congelarse temperaturas de hasta -40°C, por lo que cumpliría bien el requerimiento de anticongelante.

Debido que ambos fluidos expuestos cumplen con nuestras imposiciones para poder ser utilizado en nuestro sistema tenemos que irnos a las características de cada elemento para su elección. Debido a esta distinción, el fluido elegido será el Propilenglicol por las razones que se exponen a continuación:

- Nula toxicidad
- Posee una alta capacidad calorífica

- El color del fluido es azul, lo que permite detectar fácilmente fugas en caso de que existan
- Buen comportamiento del fluido ante las aleaciones metálicas (protección a la corrosión)
- Punto de ebullición de 150°C

5.1.1.3. Dimensionado circuito hidráulico

Comenzaremos el apartado realizando el dimensionado y caracterización del circuito primario de nuestro sistema de aporte de energía. Para ello estableceremos un sistema de tuberías compuesto por tuberías de cobre recubiertas por aislante térmico de lana mineral con el fin de minimizar las pérdidas a través de los conductos y alcanzar la mayor eficiencia posible.

$$h_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \quad [\text{mca}] \quad \text{Ec.10}$$

El cálculo del dimensionado de las tuberías se tendrá que tener en cuenta la documentación establecida en el Pliego de Condiciones del IDAE [12] donde se establecen los valores de las pérdidas de carga por metro lineal máximas permitidas en el circuito, así como de la velocidad máxima del fluido caloportador en el interior del conducto. En esta circunstancia, aplicaremos la ecuación de la mecánica de fluidos, ecuación 10, que relaciona las pérdidas de carga (h_f) con la velocidad del fluido que circula por el interior de las tuberías (v) con las características geométricas de la tubería (factor de fricción, f , diámetro, d , y longitud, l) como se puede comprobar en el apartado 6.4.3. del anexo cálculos. En este caso, la velocidad establecida como máxima es de 0.5 m/s y las pérdidas de carga nunca deberán superar los 40 mmca.

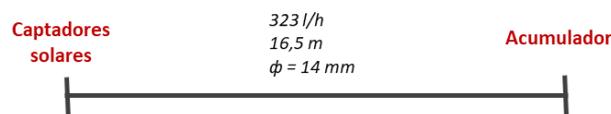


Imagen 21 Esquema del circuito primario del sistema de solar para el punto máximo de trabajo

Aplicando las ecuaciones de la mecánica de fluidos obtenemos un diámetro interior de tubería de 14 mm, una longitud de la instalación de 32 m, un caudal de 323 l/h y un recubrimiento aislante de espesor 25 mm de lana mineral como se comprueba en el esquema de la imagen 21.

5.1.1.4. Bomba de circulación

En el caso de la bomba de circulación para el circuito de energía solar, hemos elegido una que nos permita el desplazamiento del fluido en todas las ocasiones, esto quiere decir que permita la circulación del líquido ajustándose a la velocidad requerida de esta.



Modelo	BAXI SB-5 Y
Q_{\max} (m ³ /h)	1.55
H_{\max} (mca)	0.8
Rango de trabajo (°C)	-10 a 60
Presión máxima de trabajo	10
Tensión (V)	230
Velocidad (r.p.m.)	1850
Potencia absorbida (W)	30
Peso (kg)	2

Tabla 10: Características técnicas bomba de circulación para la instalación solar. [15]

Por ese motivo, la bomba elegida en este caso es la BAXI SB-5 Y que será capaz de adaptarse a las necesidades de nuestra instalación calculadas en el anexo cálculos, apartado 6.3.3. Esta elección conlleva las siguientes características técnicas mostradas en la tabla:

Además, cabe destacar que son bombas con gran eficiencia y bajo ruido sonoro.

5.1.1.5. Otros elementos

Para terminar con el sistema de captación, necesitaremos hablar del resto de elementos que lo componen sin los cuales el funcionamiento de esta no sería el correcto:

- Válvulas

La red de tuberías que tenemos en esta instalación se configura como un circuito cerrado en anillo. Pero aun así, necesitaremos colocar un cierto número de válvulas a lo largo de las tuberías.

Como dispositivos de protección del usuario colocaremos válvulas mezcladoras termostáticas para limitar y regular la temperatura de los circuitos de distribución con altas temperaturas evitando que la temperatura de este alcance valores excesivos para la instalación.

En el caso de las válvulas de paso o de corte son necesarias para aislar los elementos más relevantes y realizar operaciones de mantenimiento sin la

necesidad de realizar un vaciado completo de la instalación y sin que deje de funcionar la instalación. Para ello, se deben dejar previstas válvulas de corte y circuitos by-pass en paralelo a los elementos que lo requieran. Se instalarán por lo tanto válvulas de este tipo en:

- a la entrada y a la salida de cada captador
- a la entrada y salida de cada una de las conexiones del acumulador y la bomba
- a la entrada y salida de los circuitos de consumo y distribución de agua fría y caliente
- Válvulas termostáticas

Las válvulas de seguridad se instalarán como mínimo una en cada uno de los circuitos cerrados de la instalación además de una en cada uno de los captadores cuya presión de tarado será siempre superior a la de la válvula de seguridad general para que sea ésta la que actúe en caso de sobrepresión y en el acumulador.

Otro tipo de válvulas a utilizar son las válvulas de retención utilizadas para evitar que el sistema trabaje en vacío y evitar la circulación del fluido en sentido contrario, las válvulas de vaciado del fluido del circuito y las válvulas de equilibrado que se instalarán para introducir una pérdida de carga adicional en determinados componentes o subsistemas con el fin de equilibrar lazos de circuitos conectados en paralelo, también se utilizarán con válvulas de 3 vías todo-nada en circuitos de caudal constante para mantener la misma pérdida de carga en los dos lazos del circuito.

Todas estas válvulas, vienen representadas en la imagen 22 donde se puede verificar la colocación de cada una de estas.

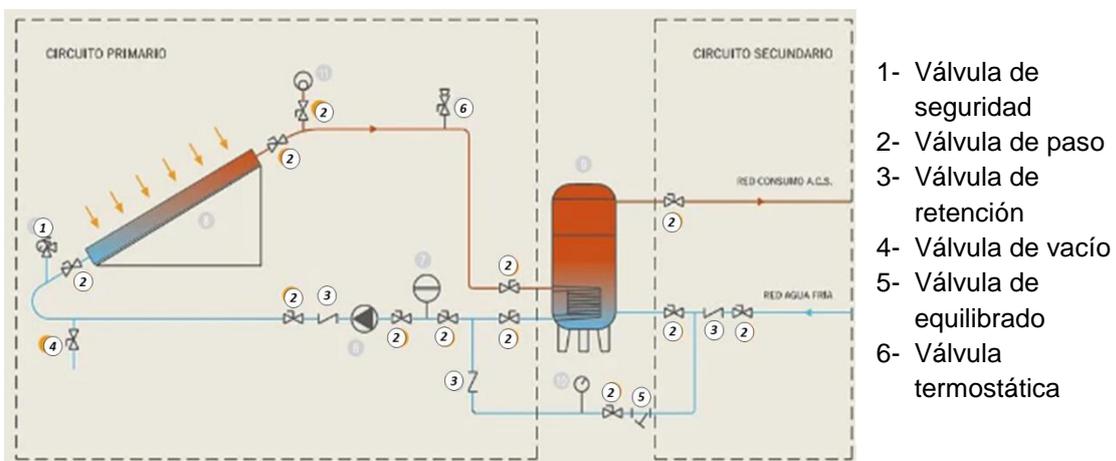


Imagen 22: Esquema instalación de distribución energía solar. [11]

Además, tenemos que tener en cuenta, que las válvulas colocadas deberán ser capaces de soportar con garantías, las presiones y temperaturas que se alcancen en el interior de estas.

- **Vaso de expansión**

Como medida de seguridad ante los cambios de volumen del fluido en el interior de las tuberías, será necesario colocar un vaso de expansión en el circuito. Este vaso ayudará también a evitar la aparición de golpes de ariete, es decir, evitaremos problemas con la instalación debidos a cierres repentinos de válvulas que generen una interrupción repentina de la circulación del fluido que puedan ocasionar sobrepresiones o ruido en la instalación llegando a ocasionar roturas de los elementos.

En cuanto al volumen del vaso, necesitamos dimensionarlo a partir del volumen de fluido caloportador que circula a través de las tuberías del circuito primario. Como se ha visto anteriormente, el volumen que circulará será de 323 l/h y aplicándole un factor el expansión del fluido calculamos el volumen mínimo que deberá tener este vaso de expansión. En nuestro caso, aplicamos un factor de 0.029, dando como resultado un vaso de 9.36 l.

Yendo a los catálogos comerciales, nos encontramos con vasos de 8 y de 12 litros. A la vista de nuestros resultados elegiremos para nuestro sistema el de más grande ya que así, disponemos de cierto volumen de seguridad para posibles imprevistos.



Modelo	Vasoflex
Presión máxima de trabajo (bar)	3
Temperatura máx. trabajo (°C)	110
Capacidad (litros)	12
Presión de llenado (bar)	0.5

Tabla 11 Características técnicas vaso de expansión Vasoflex. [15]

- **Sistema de llenado y vaciado**

Cualquier instalación con un circuito hidráulico necesita incorporar un sistema de llenado y vaciado del fluido interior. Este sistema ha de ser estanco

y deberá mantener el circuito presurizado evitando la entrada de aire del exterior.

Normalmente, para ayudar al vaciado y llenado de la instalación este sistema se coloca en la zona más baja del circuito pudiendo realizarse de manera manual o automática.

- **Purga de agua**

Las instalaciones solares, disponen de un purgador encargado de extraer todas las burbujas de aire que existen o se forman en el interior de las tuberías dañinas para nuestra instalación con el objetivo de evitar disminuciones de efectividad de la instalación, evitar cavitaciones y por consiguiente desgastes de las tuberías, etc.

Estas purgas deberán colocarse siempre en la zona más alta de la instalación para facilitar la expulsión de dichos excesos de aire.

- **Dispositivos de medida**

En la instalación necesitamos contar con dispositivos de toma de medidas de presiones, temperaturas, caudales y energía que permitan controlar el funcionamiento de nuestro sistema.

Para ello, colocaremos sensores de temperatura según se nos indica en la imagen 23 marcados como T, para el control de todo el circuito ya sea como control de temperatura de los paneles solares, del depósito, y de los conductos.

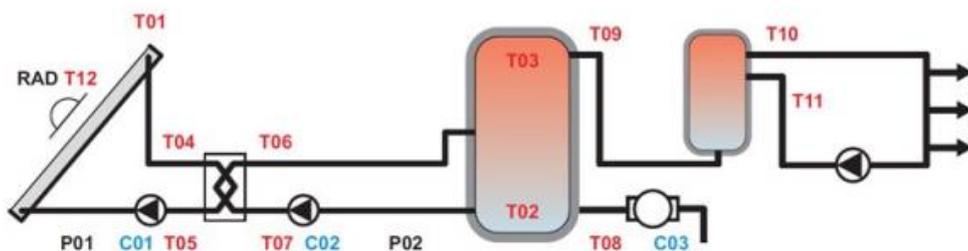


Imagen 23: Esquema elementos de control instalación solar. [11]

Colocaremos igualmente un sensor de presión en cada uno de los circuitos que integran la instalación, marcados en la imagen 23 como P y un caudalímetro en cada sistema marcado en la imagen como C.

5.1.2. Dimensionado de los captadores solares

En el dimensionado del sistema de captación necesitaremos apoyarnos en la herramienta CHEQ4 [13] para llegar a calcular el número mínimo necesario con el que podamos llegar a alcanzar las exigencias mínimas requeridas en el

CTE HE 4 2020 [4] utilizando una configuración de la instalación mediante un sistema con interacumulador y válvula termostática.

De la misma manera que aparece en el apartado 6.3 del anexo cálculos, y siguiendo las pautas recomendadas para calcular estos valores, se ha ido completando las necesidades y características de la instalación.

En un inicio, esta herramienta necesitará cumplimentar la demanda de ACS característica de la vivienda tratada en apartados anteriores de este documento. Como se puede verificar en el apartado 4.2 la demanda total para 5 habitantes de la vivienda unifamiliar es de 140 l/día.

Una vez obtenida la información de la demanda de ACS que necesitamos cubrir utilizaremos la herramienta del CTE, CHEQ4, para dimensionar el sistema de captación. En este programa, tendremos que tener en cuenta que solo nos permite dimensionar el sistema de captación para ACS por lo que, aunque en nuestro proyecto también queremos cubrir parte de la demanda de calefacción, necesitaremos buscar otras maneras para poder realizarlo. La decisión tomada ha sido dimensionar el campo de captación teniendo en cuenta que en parte de los meses de necesidades de calefacción, el sistema suministre el 100% de la demanda de ACS como para disponer de excedentes que destinaremos para la calefacción.

Comenzando con el dimensionado de los captadores, necesitamos conocer de inicio las pérdidas por sombra calculadas anteriormente y ángulos característicos de la instalación, además de realizar una hipótesis sobre el número de placas solares que deberá tener nuestra instalación y al final de todo el proceso comprobaremos si nuestra hipótesis inicial resulta cierta. A mayores, necesitaremos completar los datos correspondientes a nuestro circuito primario y secundario de energía solar para que el sistema se encargue de calcular las pérdidas energéticas desde el punto de captación hasta el acumulador.

Como se ha visto anteriormente, la longitud del circuito es de 32 m con un diámetro de 14 mm recubierto de un aislante de espesor 25 mm de lana mineral. En cuanto el caudal elegido, tomaremos el recomendado por el programa para la instalación de esos dos tipos de placas en paralelo.

Para terminar, necesitaremos referenciar al sistema de acumulación de ACS. Aunque hasta ahora no hemos entrado en explicaciones del sistema elegido, si podemos decir que el volumen de este tiene que ser al menos la demanda diaria de ACS de la vivienda, 140 l. Es por ese motivo y como podremos verificar a continuación, en el mercado nos encontraremos con depósitos de 300 l o 500 l. En nuestro caso y como hipótesis tomaremos un volumen del depósito de 500 l para asegurarnos que el suministro calorífico en

nuestra instalación de al menos 1,5 días. Dicha hipótesis la verificaremos en el siguiente apartado.

Con todos estos datos anteriores y suponiendo una hipótesis de utilización de 3 placas solares colocadas en paralelo para alcanzar mayores rendimientos, vemos que el programa nos confirma que nuestra hipótesis inicial es correcta y conseguimos no solo cubrir la demanda anual del 60% de agua caliente sanitaria, sino que la superamos alcanzando el 87%, como se puede comprobar en la tabla 11 e imagen 24.

En concordancia a los resultados hablados, debemos de tener presente que durante los meses más fríos (de octubre a febrero) el aporte solar cubre solo parcialmente las necesidades de ACS de la vivienda, como se puede comprobar en la imagen 24, mientras que en los meses más calurosos (de marzo a septiembre) la demanda de ACS se satisface al 100% quedando un excedente de calor (entre marzo y mayo) que aprovecharemos para destinarlo a cubrir parte de la demanda de calefacción cuando esta sea necesaria. En el caso que esta no sea necesaria se tomaran medidas puntuales, que se verán en apartados posteriores, para limitar la obtención de energía solo hasta que cubra nuestras necesidades.

RESULTADO:

La instalación solar térmica especificada **CUMPLE** los requerimientos de contribución solar mínima exigida por la HE4

Certificado

Tabla de resultados

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
87	2.896	2.902	2.517	408	563

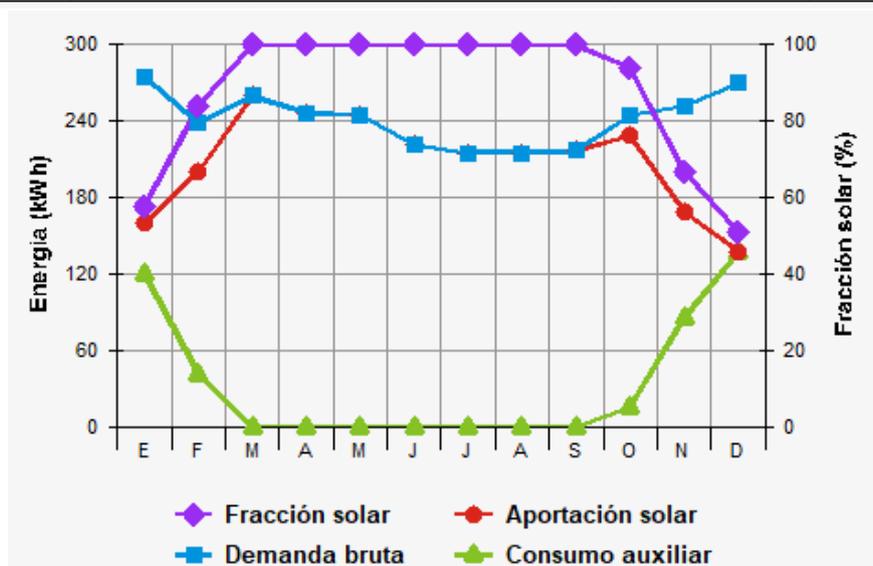


Imagen 24 Gráfica resultados aportación instalación solar para ACS con la herramienta CHEQ4 [13]

Desglosando estos valores de aporte energético vistos en la imagen 24

podemos verificar en la tabla 12 la cuantía energética es cubierta mes a mes por el sistema de energía solar y cuanto aporte es debido al sistema auxiliar de apoyo.

	<i>Demanda ACS (kWh)</i>	<i>Demanda Calefacción (kWh)</i>	<i>Aporte Energía solar (kWh)</i>	<i>Suministro energía solar para ACS</i>	<i>% energía solar ACS</i>	<i>Suministro energía solar para calefacción</i>	<i>% energía solar calefacción</i>
<i>Ene.</i>	280	1.088,22	160	160	57,14%	0	0%
<i>Feb.</i>	240	547,60	195	195	81,25%	0	0%
<i>Mar.</i>	255	259,06	285	255	100%	30	12%
<i>Abr.</i>	245	16,21	261	245	100%	16	100%
<i>May.</i>	245	2,67	248	245	100%	3	100%
<i>Jun.</i>	220	0,00	220	220	100%	0	0%
<i>Jul.</i>	215	0,00	215	215	100%	0	0%
<i>Ago.</i>	215	0,00	215	215	100%	0	0%
<i>Sep.</i>	218	0,00	218	218	100%	0	0%
<i>Oct.</i>	245	97,81	230	230	93,88%	0	0%
<i>Nov.</i>	250	360,67	165	165	66,00%	0	0%
<i>Dic.</i>	270	1.011,87	135	135	50,00%	0	0%
Total (kWh)	2898	3384,10	2546,88	2498,00	87,4%	48,88	17,64%

Tabla 12 Aportación solar mensual para cubrir la demanda de ACS + calefacción

Teniendo en cuenta los valores recogidos en las tabla 6 y 7 de necesidades energéticas de ACS y de calefacción de nuestra vivienda, podemos obtener el aporte de energía que suministrará cada uno de los sistemas de la instalación, es decir, podremos cuantificar la energía suministrada mediante los captadores solares y la proporcionada por el sistema auxiliar como se recoge en la tabla 13.

	<i>Demanda de ACS (kWh)</i>	<i>Demanda de calefacción (kWh)</i>
	2.898	3.384,10
Aporte de energía solar (kWh)	2546,88	
Aporte energía sistema auxiliar (kWh)	3735,22	
Aporte energía total (kWh)	6282,10	

Tabla 13 Distribución de las energías de la vivienda en régimen transitorio

En contraste con todo lo anterior, nos encontramos con el inconveniente bajo esta configuración que la fracción solar supera como mínimo durante tres meses seguidos el 100 % contemplado en el CTE como una limitación del

sistema que necesita un plan de acción para conseguir solventar dicho exceso de energía.

En este documento, se nos plantean cuatro medidas para solventarlo.

- Dotar la instalación de la posibilidad de **disipar dichos excedentes** a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario
- **Tapado parcial** del campo de captadores. En este caso el captador solar térmico está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacúa los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador).
- **Vaciado parcial** del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares, debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento.
- **Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones** existentes
- **Sistemas de vaciado y llenado automático** del campo de captadores.

En nuestro caso, se ha tomado optado por dos medidas a la hora de tratar los excedentes de ACS calculados a partir de la herramienta CHEQ4: en primer lugar, en los meses más fríos (de marzo a mayo) donde se ocasionen excedentes, estos se aportarán al sistema de calefacción para dar apoyo al sistema auxiliar. En el momento que estos excedentes no sean necesarios se optará por la segunda opción expuesta, tapar parte del campo de captación mediante fundas debido a que como solo se excede en los meses de mayor radiación solar, cualquiera de las otras opciones planteadas conlleva un coste superior. En función de esta decisión tomada, se estudiará para posteriores años implantar un sistema automático de vaciado o llenado o incluso, un sistema de tapado automático.

5.2.Sistema de acumulación

El interacumulador es el lugar donde se almacenará el agua a utilizar en nuestra vivienda para los circuitos de agua caliente sanitaria y calefacción. Esta necesidad de acumulación es debida a que el uso de agua caliente de la vivienda no suele coincidir con el momento de mayor radiación solar, por este motivo necesitaremos acumular dicha energía en un espacio lo más aislado posible para evitar la mayor pérdida de temperatura dentro de este.

Este depósito además de servir como sistema de acumulación, integra el intercambiador en su interior por lo que será donde se realiza el intercambio de calor con el circuito primario.

Este depósito inicialmente deberá estar dimensionado con el fin de cubrir las necesidades de ACS diarias que nos genera nuestra vivienda. Aunque en la nueva actualización del Código Técnico de la Edificación no existe una especificación para el dimensionado de estos elementos, en la anterior versión del CTE HE 2018 [16] se establece un volumen de acumulación que nos permita satisfacer 1 o 2 días las necesidades de agua caliente y que cumpla con las restricciones de la ecuación 11. Esta relaciona el volumen del acumulador (V) con el área (A) de captación.

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad \text{Ec.11}$$

Por todo lo dicho, el volumen del acumulador de inercia deberá tener como mínimo el volumen de agua diaria necesaria para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria más la demanda de agua para calefacción. Con estos datos, en los catálogos comerciales de los elementos se observa, que el tamaño inmediatamente superior con un área de captación referente a 3 captadores es de 500 l, por lo que será por tanto nuestra elección. Una vez elegido este volumen, comprobaremos si cumple con las restricciones mostradas en la ecuación 11 en la igualdad inferior.

$$50 < \frac{V}{A} = \frac{500}{6,72} = 74,4 < 180$$

5.3.Sistema de distribución.

5.3.1. Distribución de calefacción

El principio básico del sistema de calefacción mediante radiadores consiste en un circuito de distribución que discurre a través de toda las estancias conectado a ciertos elementos radiantes que proporcionan al ambiente la temperatura necesaria para calentar cada recinto.

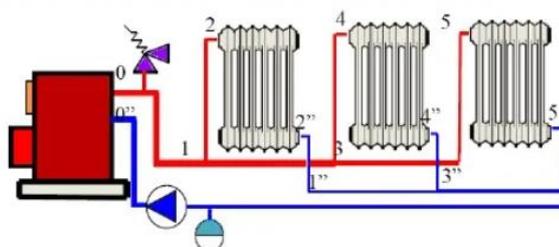


Imagen 25: esquema genérico de una instalación convencional de calefacción con radiadores bitubo y retorno invertido.[17].

Esta red de distribución parte del depósito de acumulación de la instalación de energía solar térmica donde se acumula el calor que utilizaremos tanto para ACS como para calefacción a una temperatura de 60°C para continuar la tubería pasando por el grupo de energía auxiliar donde si el agua no alcanza la temperatura de consigna a su paso, se calienta hasta dicho valor para después distribuirlo hacia los radiadores.

Esta configuración junto con el aislamiento de las tuberías hace que se consiga minimizar las pérdidas térmicas del circuito ocasionando un pequeño gradiente de temperatura entre el tramo inicial y el tramo final del circuito, y el equilibrado hidráulico de la instalación.

Un sistema bi-tubo es aquel en el que existe una red primaria de tuberías y en el encuentro con el elemento radiante se crea una bifurcación dejando pasar por ella solo el caudal necesario para calentar dicho radiador, el resto de fluido continuará por la red hasta el próximo desvío, como se puede observar en el esquema de la imagen 25. Debemos tener en cuenta además que este sistema se construye teniendo en cuenta la configuración de retorno invertido, o lo que es lo mismo, el agua caliente se comienza a distribuir en primer lugar en los elementos radiantes más alejados y se finaliza en los más cercanos con el fin de equilibrar las pérdidas de carga para asegurar una distribución del calor más uniforme.

La red de tuberías, en el caso de estudio de la vivienda, consta de tres ramales, uno por planta, estando conectados mediante una red de tuberías que llegan hasta el sistema de interacumulación como se puede comprobar en los planos de calefacción nº 12, 13 y 14.

A mayores, el circuito de calefacción cuenta con una bomba centrífuga que es la encargada de transportar el agua hasta el punto más alejado de la instalación y de válvulas para limitar el paso de fluido a través de los elementos radiantes.

5.3.1.1. Elementos radiantes

La elección de radiadores ha sido tomada teniendo en cuenta la intención de nuestro trabajo de utilizar un sistema que trabaje a baja temperatura de 60°C para conseguir mayores ahorros de energía.

En lo que se refiere a la elección de los radiadores, esto acarrea una serie de ventajas como son:

- Máximo aprovechamiento de la energía producida con las calderas de nueva generación que existen en el mercado. Esto puede llegar a generar que se trabaje con rendimientos superiores al 100%.

- Baja inercia térmica. Estos sistemas de radiadores generan menos consumos y mayor confort debido a la rápida adaptación en los cambios de temperatura que se producen en el interior de la vivienda.
- Estanqueidad total de la instalación gracias a la junta elástica que sirve de unión entre los elementos del radiador moderno de aluminio.

Por estos motivos, nuestra vivienda se equipará con radiadores de la marca Ferroli. Esta elección está basada en las características de ahorro energético, flexibilidad en las condiciones de trabajo que genera su utilización y funcionamiento del sistema en instalaciones de baja temperatura o calderas de condensación. El modelo elegido para toda nuestra vivienda será el Ferroli Xian 600N que cuenta con las siguientes características técnicas:



Modelo	Ferroli XIAN 600N
Dimensiones elemento radiante (mm)	80 x 581 x 100
Emisión térmica	
ΔT 60°C (W)	156.2
ΔT 50°C (W)	122.9
ΔT 40°C (W)	91.66
ΔT 30°C (W)	62.08
Temperatura máxima de funcionamiento	110
Exponente n	1.31423
K_m	0.718974
Contenido agua (l)	0.39.
Peso (kg):	1.36

Tabla 14: Características técnicas radiador Ferroli Xian 600N. [18]

El cuanto al número de elementos radiantes que deberemos colocar en cada estancia, se ha calculado según el procedimiento establecido en la Guía Técnica de instalaciones de Calefacción Individual del IDAE [19] y la normativa UNE EN 442 [20] donde se establece que este cálculo vendrá por la potencia

calorífica a cubrir de la estancia (Q_e), la curva característica de cada radiador para el cálculo de su constantes intrínsecas (K_m , constante propia del radiador, y n , curva característica del emisor) y el salto térmico entre la temperatura ambiente y el elemento (ΔT), en nuestro caso de 32°C según se comprueba en el anexo cálculos apartado 5.1, como se recoge en la ecuación 12.

$$\text{numero de elementos radiantes} = \frac{Q_e}{K_M \cdot \Delta T^n} \text{ [W]} \quad \text{Ec. 12}$$

Basándose en estos principios en el apartado 5.1 del anexo cálculos, se ha conseguido realizar el dimensionado de los elementos radiantes que necesitaremos colocar en cada una de las estancias como se muestra en la tabla 15.

Estancia	Nº radiadores	Elementos por radiador
Cocina	1	12
Habitación 1	1	12
Baño 1	1	8
Salón	2	11
Hall principal	1	3
Habitación 2	1	10
Habitación 3	1	9
Baño 2	1	9
Habitación 4	1	11
Baño 3	1	9
Ático	2	12

Tabla 15: Dimensionado instalación de calefacción.

La ubicación de estos elementos radiantes se llevará a cabo a partir del punto de vista del confort, o lo que es lo mismo, el lugar más apropiado para la instalación de los radiadores será la pared más fría de la estancia que corresponde habitualmente con la zona inferior de las ventanas, ya que son los puntos de mayor pérdida de energía, como se puede observar en los planos correspondientes a dicha instalación.

Ahora bien, según la distribución de nuestra vivienda, existen ciertas estancias donde por su colocación se hace en las zonas más frías, hablamos en particular de los baños de la planta principal y el baño común de la primera planta. En estos casos, las duchas se encuentran situadas en dicha pared más fría, por lo que la opción tomada, será colocarlos en la segunda pared más fría, es decir, en las paredes que integran las puertas, lugar de disipación de energía mayor a otras estancias, sobre todo en el caso de que el cerramiento se encuentre abierto.

Aun así, aunque no se respete la regla anterior en todas las estancias, lo que sí deberemos respetar es la altura mínima obligatoria por el IDAE de situación de los radiadores con respecto a la pared. Estos deberán estar situados a 10 cm del suelo y deberán estar separados de la pared 4 cm. Además, a ser posible, estos estarán libres de obstáculos para conseguir una mayor eficiencia energética, evitaremos repisas, embellecedores o nichos.

5.3.1.2. Red de distribución

En relación con el circuito de calefacción de nuestra vivienda, tendremos que comenzar partiendo de los materiales que lo componen. Normalmente, las tuberías más comunes son las metálicas de cobre ya que admiten condiciones de trabajo muy superiores a las de otros elementos. A causa de ello, será la elección que tomaremos como material de nuestras tuberías.

Ahora lo que nos queda por obtener es el diámetro de los distintos tramos de los que se compone la instalación de calefacción. Para su cálculo, necesitaremos aplicar las ecuaciones de la mecánica de fluidos correspondiente a las pérdidas de carga de la instalación mostrada en la ecuación 8, teniendo en cuenta que en el Pliego de Condiciones del IDAE [12] se establece las pérdidas de carga máximas que pueden ocurrir por metro de tubería y la velocidad del fluido por el interior de ellas. Establecido en nuestro caso como unas pérdidas de carga máximas de 20 mmca y una velocidad de 2m/s.

A consecuencia de la configuración de retorno invertido de cobre de la instalación de calefacción, se ha intentado dimensionar la longitud de tuberías por tramos, con el fin de disminuir las pérdidas de energía a través de las tuberías. Tal y como se puede comprobar en el anexo cálculos, en el apartado 5.2.

Conociendo todo esto, se han calculado los diámetros máximos de cada tramo de instalación de calefacción ajustados al caudal exigido en cada uno de los tramos. Los diámetros obtenidos de la instalación se reparten en valores desde los 8 mm de diámetro interior hasta los 22 mm. Estos valores se pueden verificar en la tabla inferior junto con el tramo correspondiente de tubería señalados en los planos de calefacción del anexo.

	tramo tubería	Radiadores	Caudal (l/h)	D _{norma int} (m)	Longitud
Planta baja	a-b	R1+R2+R3+R5+R6+R4+R7+R8+R9+R10+R11+R12+R13	764,3	0,026	2.73
	b-c	R1+R2+R3+R4+R5+R6	341,0	0,020	2.07
	c-d	R1+R2+R3+R4+R5	293,97	0,016	7.07
	d-e	R1+R2+R3+R4	223,71	0,014	6.1
	e-f	R1+R2+R3	205,78	0,014	0.49
	f-g	R1+R2	129,34	0,012	10.93
	g-h	R1	64,67	0,010	5.74
Primera planta	b-i	R11+R10+R9+R8+R7+R12+R13	423,31	0,020	2.92
	i-j	R11+R10+R9+R8+R7	282,21	0,016	9.22
	j-k	R11+R10+R9+R8	223,41	0,014	5.63
	k-l	R11+R10+R9	170,50	0,013	6.39
	l-m	R11+R10	117,59	0,012	11.38
	m-n	R11	52,91	0,008	2.37
Ático	i-ñ	R13+R12	141,10	0,012	2.44
	ñ-o	R13+R12	141,10	0,012	2.79
	o-p	R13	70,55	0,010	18.84

Tabla 16: Dimensionado tuberías de la instalación de calefacción.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se obtiene que el caudal máximo de la red de distribución para alcanzar la temperatura interior deseada de 764 l/h.

En resumen, en la imagen 21 se puede comprobar el esquema de la red de tuberías correspondiente con la instalación de calefacción, mostrando los tres tramos que recorren cada una de las plantas de la vivienda junto con los caudales, diámetros y longitudes de toda la instalación.

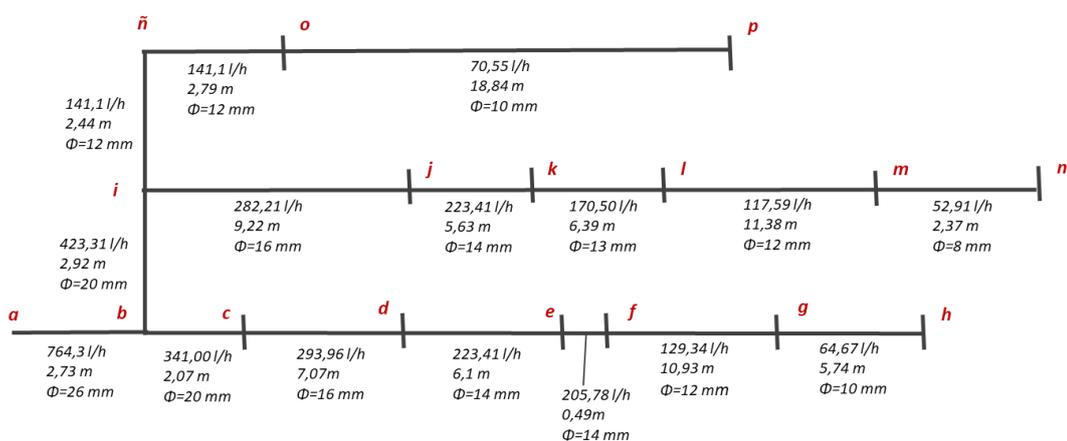


Imagen 26: Esquema de la red de calefacción para el punto máximo de trabajo.

En cuanto al aislamiento, la norma UNE-EN 1057 [21] nos establece el espesor mínimo de aislante. En nuestro caso, se ha elegido para todas las tuberías un espesor de 25 mm de lana mineral.

En este punto, deberemos verificar si la hipótesis realizada anteriormente sobre si el volumen del acumulador elegido es el adecuado para las necesidades. Para esto necesitamos calcular el volumen de agua que se encuentra en la red de tuberías del circuito de calefacción más el volumen de cada uno de los elementos radiantes de su interior. Utilizando los datos de la tabla 16 sobre el dimensionado de las tuberías, el volumen necesario de agua caliente en la red de distribución de calefacción será de 172,37 l como se detalla en la tabla 17.

	Nº elementos	Capacidad (l/elementos)	d (m)	Volumen (m³/m)	Longitud (m)	Total (l)
Elementos radiantes	130	0,39	-	-	-	50,7
	-	-	0,02	0,00126	2,73	3,43
	-	-	0,016	0,00080	2,92	2,35
	-	-	0,014	0,00062	2,07	1,27
Tuberías	-	-	0,013	0,00053	7,07	3,75
	-	-	0,012	0,00045	21,44	9,70
	-	-	0,01	0,00031	41,84	13,14
	-	-	0,008	0,00020	9,11	1,83
Total (l)						86,18
+ circuito de retorno						86,18
Total agua en la instalación (l)						172,37

Tabla 17 Volumen agua en el circuito de calefacción.

Comprobando si la hipótesis antes realizada es correcta, vemos que el volumen de agua caliente para ACS diario es de 140 l/día pero según normativa, deberemos tener un volumen correspondiente a 1.5-2 veces la demanda, o lo que es lo mismo un volumen de hasta 280 l/día y el destinado a calefacción es de 172,37 l, un volumen una vez la demanda, resultando un volumen del depósito inferior al elegido anteriormente por lo que queda verificado que nuestra hipótesis inicial es correcta.

5.3.1.3. Bomba de circulación

En cuanto a la bomba de circulación que impulsará el agua a través de toda la red de tuberías de la vivienda, para su dimensionado, necesitaremos tener en cuenta el caudal y altura necesaria para hacer circular el fluido y no queden radiadores sin abastecimiento de agua.

Así, a la vista de las necesidades calculadas para nuestra vivienda y los cálculos realizados en el apartado 5 del anexo cálculos, la bomba seleccionada que se incorpora a nuestro circuito de calefacción será la MYL30 de Baxi, la cual suministrará un caudal de 400 l en las condiciones óptimas de uso.

Las características técnicas de esta bomba son:



Modelo	BAXI MYL30
Q_{\max} (m ³ /h)	2.1
H_{\max} (mca)	4.1
Rango de trabajo (°C)	-10 a 90
Presión máxima de trabajo	6
Tensión (V)	230
Velocidad (r.p.m.)	800-3600
Potencia absorbida (W)	4-20
Peso (kg)	2.9

Tabla 16 Características técnicas bomba de circulación para la instalación de calefacción. [15]

Además, cabe destacar que son bombas con gran eficiencia y bajo ruido sonoro.

Para completar este apartado, comentaremos que la instalación de la bomba se realiza a continuación del sistema de acumulación para ser capaz de mover toda el agua eficientemente.

5.3.1.4. Otros elementos

En el circuito de calefacción, además de las necesidades los elementos anteriores, necesitamos incorporar ciertos elementos para un correcto funcionamiento de la instalación:

- **Termostato diferencial**

Estos elementos son los encargados de mandar una señal a la bomba de circulación de la instalación mediante un control diferencial donde se compara las temperaturas del captador con las del acumulador para el funcionamiento del circuito primario. En el caso del circuito de suministro, el conexionado con la instalación convencional se realiza mediante el control de la válvula de tres vías del circuito de calefacción o de ACS que también se realiza mediante control diferencial entre la temperatura de retorno de calefacción y la temperatura disponible en el acumulador solar con el fin de controlar la temperatura del interior del depósito.

Normalmente, en el funcionamiento de estos termostatos se encuentra la característica de diferenciar entre los circuitos de ACS y calefacción, así, la

estrategia más habitual que sigue este termostato es la de dar prioridad al consumo de ACS, no dejando consumir calor al circuito de calefacción hasta que no se haya alcanzado la temperatura de consigna establecida para el agua.

- **Válvulas termostáticas de by-pass**

Son válvulas que se incorporan en los elementos radiantes para controlar la temperatura de la estancia. Es decir, estas válvulas incorporan un sensor sensible de temperatura, de manera que cuando la temperatura de la sala se aproxima a la temperatura de consigna, la válvula se va cerrando, impidiendo el paso de agua caliente y disminuyendo la cesión de calor al ambiente hasta alcanzar la temperatura deseada donde la válvula estará completamente cerrada.

Este sistema presenta dos grandes beneficios: se puede controlar estancia por estancia la temperatura que se desea obtener produciendo gran confort y no se derrocha energía debido a que el sistema solo trabaja para alcanzar la temperatura demandada.

Aunque el uso de estas válvulas ayuda a controlar la temperatura de las estancias, no es recomendable colocarlas en todos los radiadores, por ejemplo, en los radiadores que se encuentren en la misma estancia que el termostato, no será necesario ya que la regulación del calor lo realizará el este termostato.

Esto ocurre principalmente en los elementos radiantes del hall principal y del ático donde no colocaremos dichas válvulas. En el resto de radiadores sí realizaremos dicha regulación.

- **Vaso de expansión**

Normalmente estos elementos vienen ya incluidos dentro de la instalación como elemento de seguridad ante un aumento de presión del agua como veremos en cada uno de los sistemas de apoyo.

- **Purgadores**

Son elementos necesarios a colocar en cada uno de los radiadores a modo de elementos para eliminar el aire del interior de los elementos radiantes que disminuyen la transferencia de calor con el ambiente.

5.3.2. Distribución de ACS

En el caso de la distribución de ACS tendremos que tener en cuenta la red de tuberías que parten desde la unidad de apoyo hasta el punto de consumo del agua caliente sanitaria (grifos, inodoros, duchas, etc.)

5.3.2.1. Red de distribución

Comenzando con el estudio de la red de distribución, comenzaremos caracterizando la geometría de la instalación; revisando los diámetros y longitudes de la red de tuberías que suministra a nuestra vivienda.

Como se puede observar en la imagen 27 y teniendo en cuenta los planos de la instalación de fontanería de cada uno de los pisos de la vivienda, planos nº 18, 19 y 20 del anexo planos, podemos comprobar que existen tuberías de diámetros 12, 20, 22 y 26 mm según la distribución inferior y tal como nos indica el Código Técnico de la Edificación apartado de salubridad.

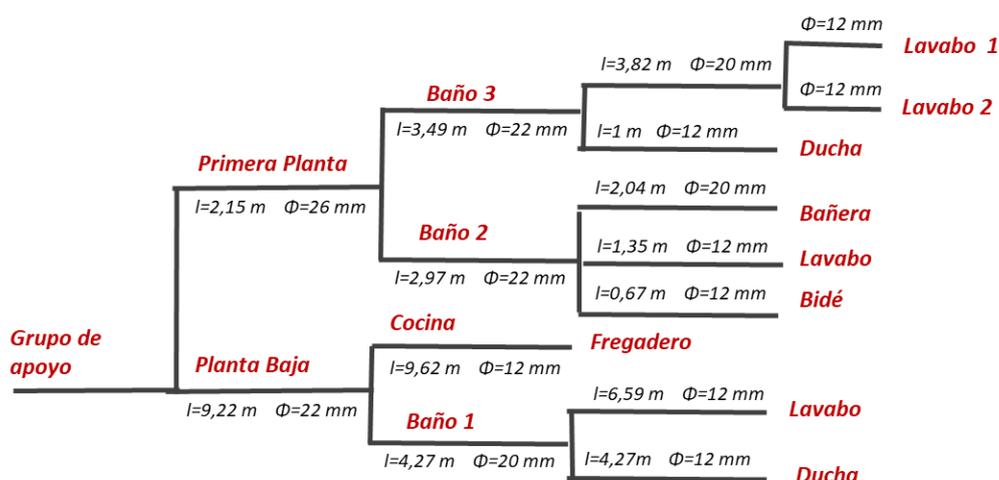


Imagen 27: Distribución circuito de ACS

En cuanto a la composición de las tuberías, el CTE nos permite realizar la instalación mediante tubos de cobre, y como en casos anteriores, al ser tubos destinados a transportar fluido caliente, deberán aislarse con el fin de minimizar las pérdidas de calor a lo largo de todo el circuito de distribución. En este caso, elegiremos el mismo material y geometría que en el caso de calefacción, lana mineral de 25 mm de diámetro.

5.4. Sistema de regulación y control

Este sistema será el encargado de controlar y regular el perfecto funcionamiento de nuestra instalación, así como de conseguir un rendimiento óptimo del sistema. Es decir, un funcionamiento idóneo de elementos como bombas, válvulas o demás elementos incorporados con el fin de aprovechar al máximo el uso de energía procedente de la instalación solar.

Dentro del sistema de regulación se podrán incluir elementos como: termostatos, válvulas, purgadores, dilatadores y sensores, ya comentados en apartados anteriores.

El control sobre el funcionamiento de la instalación será diferencial a través de un termostato. Este será el encargado de poner en funcionamiento o parar los distintos sistemas de la instalación. Se encargara de controlar el sistema de captadores solares dependiendo de la diferencia de temperaturas entre el captador y el acumulador o del funcionamiento del circuito de calefacción realizando la comparación entre la temperatura de retorno de calefacción y la temperatura disponible en el acumulador solar.

Para el funcionamiento óptimo de este circuito de control se dotará al sistema con sensores para medir la temperatura en cada punto de la instalación, reguladores con el fin de controlar los distintos elementos del sistema y actuadores para ejecutar las órdenes que generan los reguladores.

La colocación de dichos elementos se realizará de la siguiente manera:

- Sensores: se colocarán sensores de temperatura en los captadores, tanto a la entrada como a la salida del captador para controlar estas temperaturas, en el acumulador y en elementos como bombas y válvulas para evitar que alcancen las temperaturas máximas o mínimas que son capaces de soportar.
- Reguladores
- Actuadores

Así bien, el funcionamiento del sistema de captación se basará en la diferencia de temperaturas a la que se encuentre el agua en el interior del depósito de acumulación en comparación con la temperatura de los captadores mientras que el funcionamiento de las redes de consumo se basará en el gradiente de temperaturas entre el punto de consumo y el acumulador.

Se establecerá como consigna que el sistema de captación se activará para calentar el agua del depósito solamente cuando descienda de 50°C para elevarla hasta los 60°C establecidos y haya radiación solar y la temperatura exterior a mayor o menor de un determinado valor.

Una vez sea posible la generación de calor a través de los captadores, las válvulas de paso se abrirán entrando en funcionamiento consiguiendo elevar la temperatura hasta que el salto térmico entre la entrada a los captadores y la salida de los mismos sea menor de 7°C, momento en el que se activarán las bombas de recirculación y por tanto se iniciará el intercambio de calor entre el circuito primario y el acumulador calentando el agua del depósito de acumulación solar.

En el momento en el que la temperatura en el depósito de acumulación sea 2°C superior a la de la salida de los captadores el termostato mandará una

señal a las válvulas de paso cerrando la circulación de fluido caloportador dejando de suministrar calor a este.

Desde el punto de vista de los dispositivos de protección, como se ha comentado anteriormente, deberemos dotar a nuestra instalación con sistemas de seguridad ante el aumento de temperaturas o presiones. En el caso de alcanzarse altas temperaturas en la instalación, dispondremos de válvulas mezcladoras como sistemas de protección. Estas serán las encargadas de proteger el circuito de distribución como al usuario utilizando un sistema de circuito de drenaje automático que garantice que en las temperaturas más extremas no exista flujo de calor por la instalación.

En el caso contrario donde las temperaturas alcanzadas son extremadamente bajas apareciendo riesgo de heladas, se dispondrá de un sistema de mezcla de anticongelantes mediante un drenaje automático.

En cuanto al sistema de protección por altas presiones, se dispondrá de vasos de expansión capaces de absorber estos cambios y minimizar sus consecuencias.

5.5.Sistema de apoyo o sistema de energía auxiliar

En este apartado, plantearemos las cuatro alternativas de estudio para este proyecto como fuentes de energía para el sistema de auxiliar: el uso de una caldera convencional, la utilización de una caldera de condensación, una bomba de calor o el aporte de energía solo con bomba de calor comportándose esta como fuente de energía renovable, donde explicaremos el principio de funcionamiento de cada una de las alternativas y plantearemos la elección realizada que nos cubre las necesidades de nuestra vivienda.

5.5.1. Caldera convencional

En primer lugar, se propone utilizar como fuente de energía auxiliar el uso de una caldera convencional. Este sistema de apoyo se situará a continuación del acumulador, como se ha mostrado en la imagen 17, dando apoyo en el proceso de calentamiento del agua en el caso que el sistema solar no consiga suministrar toda la demanda energética de la vivienda.

El principio de funcionamiento de un sistema de caldera de convencional por gas comienza con el aprovechamiento del calor generado por la llama procedente del gas natural que calienta el aire de combustión para posteriormente calentar el agua de los circuitos de ACS y calefacción mediante un intercambiador de calor, como se puede ver el esquema en la imagen 28.

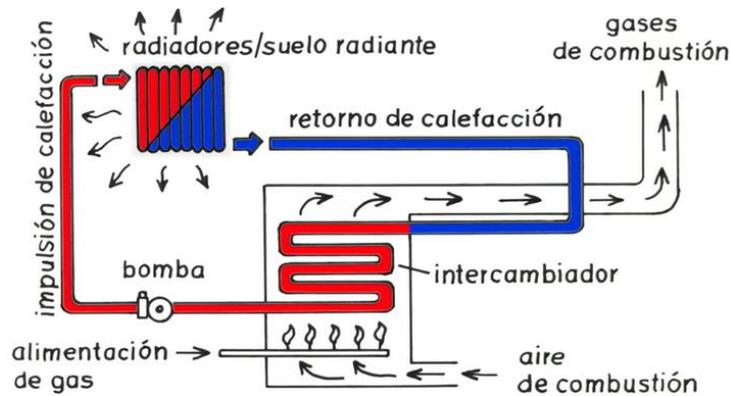


Imagen 28: Diagrama genérico de funcionamiento caldera convencional. [22]

En estos sistemas de caldera convencional de gas natural el vapor caliente contenido en los gases de combustión se evacúan a través de una chimenea situada por la fachada exterior a una temperatura cercana a los 150°C. Esto genera que parte del calor generado por el gas natural se pierda a través de los humos de combustión alcanzando normalmente un rendimiento en torno a 90%, o lo que es lo mismo, no todo el calor de combustión se aprovecha en el calentamiento del agua.

Una vez que el agua de calefacción ha sido retornada, esta se volverá a calentar mediante el calor que proporciona el depósito o en el caso de que fuese insuficiente, se utilizaría de nuevo la caldera convencional siguiendo el esquema de la imagen 29 y del plano nº23 del anexo planos.

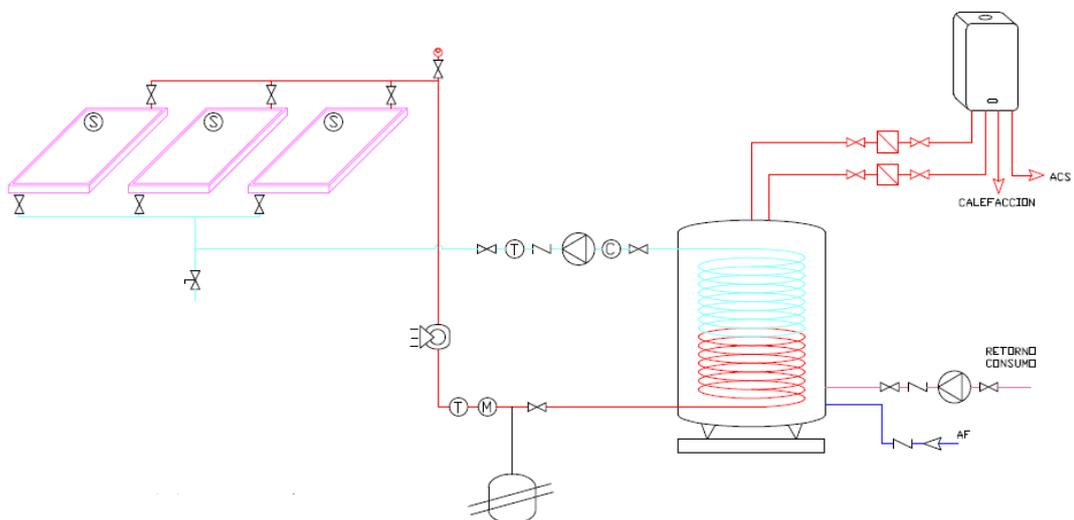


Imagen 29: Esquema instalación de energía solar de ACS+ calefacción de la vivienda con caldera convencional como equipo de energía auxiliar

Con todo esto, se ha planteado el uso en la vivienda de una caldera de gas convencional compatible con el sistema que se está estableciendo. La elegida ha sido la caldera Platinum GTAF Combi 24 que cuenta con las características

necesarias para poder compatibilizar el uso de la caldera de gas convencional junto con el de energía solar.

Además de estas características, se puede decir que esta elección ha sido tomada teniendo en cuenta las siguientes ventajas:

- Cuenta con función anti-hielo
- Cuerpo compacto con materiales de alta fiabilidad
- Selección digital de la temperatura de calefacción y agua caliente
- Indicador digital de funcionamiento y temperatura
- Fácil de instalar, utilizar y mantener

Con todo esto, las características de la caldera son las siguientes.



Modelo	MICRAPLUS 24
Datos básicos	
Eficiencia máxima de la caldera (%)	92.9
Potencia (kW)	23.3
Peso vacío (kg)	34
Dimensiones (mm)	740x410x310
Temperatura máxima admisible del agua del acumulador (°C)	85
Capacidad vaso expansión (l)	5

Tabla 19 Características técnicas caldera convencional de gas. [23]

En esta primera opción, tendremos dos elementos a incorporar en nuestro circuito, por una parte, tendremos el acumulador con la capacidad vista en anteriores apartados y un segundo bloque como caldera convencional hablado anteriormente.

En este sentido para nuestra elección de la caldera, hemos optado por un acumulador compatible con la anterior decisión, un sistema de acumulación de la marca JUNKERS denominado SK500-5ZB con capacidad de almacenaje de

agua de 500 l y compatible para sistemas de ACS y calefacción además de contar con las siguientes características:

- Protección catódica mediante ánodo de sacrificio.
- Vaina de inmersión y sensor de temperatura NTC
- Abertura lateral de inspección para el mantenimiento
- Compatible sistema solar y todo tipo de sistemas de apoyo

Entre las características técnicas se encuentran:



Modelo	SK 500 - 5 ZB
Clase eficiencia energética	
Clasificación energética	
Datos básicos	
Peso en vacío (kg)	125
Dimensiones (mm)	1870x850x850
Temperatura máxima admisible del agua del acumulador (°C)	95

Tabla 20: Características técnicas acumulador. [24]

5.5.2. Caldera de condensación

En segundo lugar, propondremos utilizar una caldera de condensación convencional como fuente de energía auxiliar.

A diferencia con el anterior caso, en una caldera de condensación, el agua fría de retorno del sistema de calefacción sufre precalentamiento aprovechando el calor residual de los gases de combustión. En la combustión, los gases que se producen son vapor de agua y CO₂. En el proceso de precalentamiento comentado y mostrado en la imagen como agua en color amarillo, el vapor de agua se aprovecha y se condensa, ya que está más caliente que las superficies de las tuberías de agua de retorno. Esta condensación genera calor y este se aprovecha para el calentamiento del agua de retorno de calefacción.

Este proceso de precalentado del agua supone que este llegará a la zona de calentamiento a una temperatura mayor, lo que significa que la energía que se necesita aplicar en el quemador para alcanzar la temperatura de consigna es menor que si este proceso de precalentado no existiese, lo que nos genera un ahorro de energía de calentamiento.

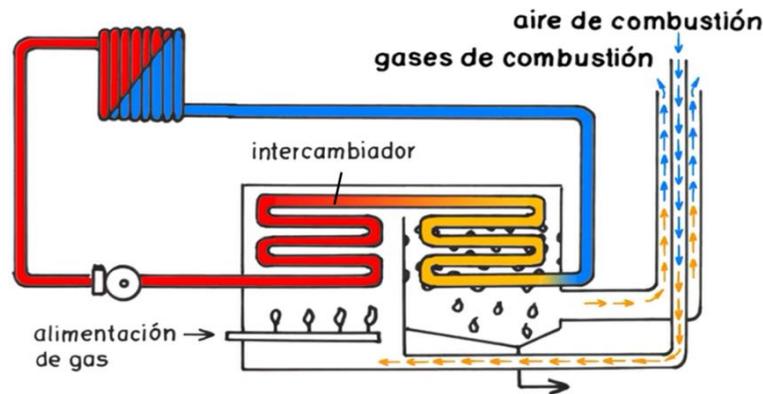


Imagen 30 Diagrama genérico de funcionamiento caldera de condensación. [22]

Pero eso no es todo, también se utiliza el calor residual de los gases de combustión. El aire de combustión que necesita el quemador se calienta a través de un tubo que roba el calor contenido en los gases de combustión. Esto significa que el aire ya llega caliente al quemador lo que hace que ahorre más aun energía. Así, con esta tecnología de condensación, llegamos a ahorrar en torno a un 20% de energía comparándolo con una caldera convencional.

En cuanto al esquema de la instalación, podemos decir que está basado en el mismo principio que el del caso anterior pero en este caso cambiando la unidad de la caldera convencional por una de condensación (esquema mostrado en la imagen 30 y plano nº24 del anexo planos)

El sistema de caldera de condensación convencional que se ha elegido es un método compatible con el sistema de energía solar y con las necesidades de ACS y calefacción.

La caldera de condensación elegida es la ROTEX GCU compact 315 Biv de gas. Esta está compuesta por una única unidad interior que integra en un solo dispositivo la caldera de condensación junto con el depósito de agua caliente o el acumulador de energía solar de la imagen 31. Este hecho hace que tengamos un mayor control sobre el sistema de salubridad evitando complicaciones como la legionela.

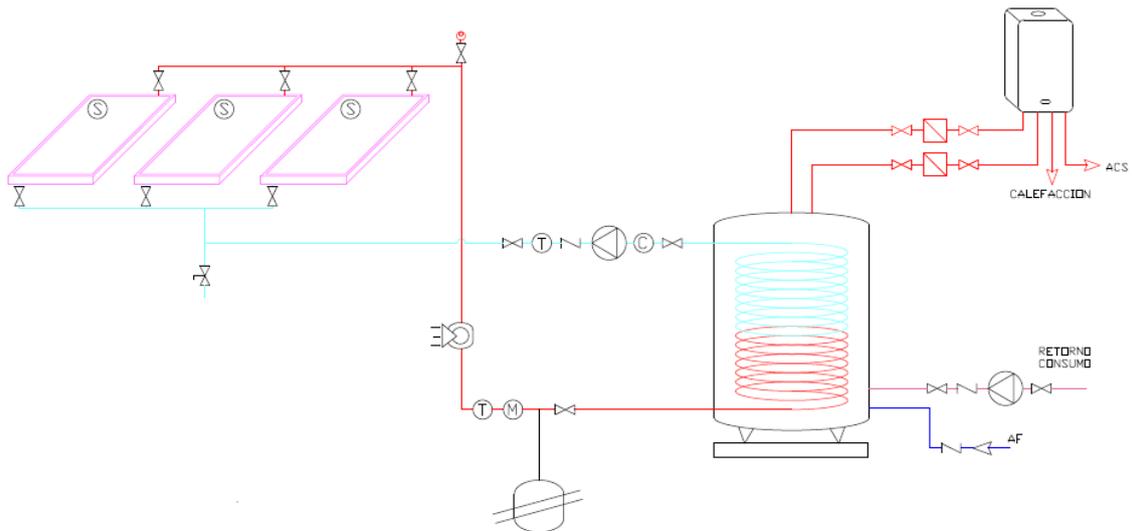


Imagen 31: esquema de la instalación solar de ACS + calefacción de la vivienda con caldera de condensación como sistema de apoyo

Entre las ventajas que dispone este sistema elegido, podemos encontrar las siguientes:

- Amplio rango de potencias en una misma caldera
- Unidad preparada para la conexión de bombas reguladas de gran eficiencia, válvulas de 3 vías, conexión LAS y sonda de temperatura exterior.
- Regulador electrónico integrado
- Caldera de alta eficiencia

En función de todo lo comentado anteriormente, la caldera elegida cuenta con los siguientes datos técnicos:



Modelo	GCU Compact 315 Biv
Clase eficiencia energética	
Calefacción de espacios	A
Calefacción de espacios con control integrado	A
Eficiencia energética calentamiento del agua	A

Datos básicos	
Capacidad acumulador (l)	500
Eficiencia máxima de la caldera (%)	110
Potencia (kW)	5-15
Peso vacío (kg)	86
Peso completamente lleno (kg)	386
Dimensiones (mm)	595 x 615 x1945
Temperatura máxima admisible del agua del acumulador (°C)	85
Bomba de circulación	Gran eficiencia, regulada y preparada para a directiva europea ErP

Tabla 21 Características técnicas caldera de condensación. [25]

5.5.3. Bomba de calor

Como tercera alternativa plantearemos el uso de bomba de calor como fuente de energía auxiliar.

El sistema elegido es el sistema ROTEX HPSU Compact debido a que es de los pocos sistema encontrados que es compatible con un sistema de energía solar formado por placas para suministrar energía de ACS como de calefacción a la vez, y además incorpora en una sola unidad interior el acumulador, como se ve en la imagen 32, liberándonos espacio para los aparatos del sistema y simplificando a red de tuberías de la instalación.

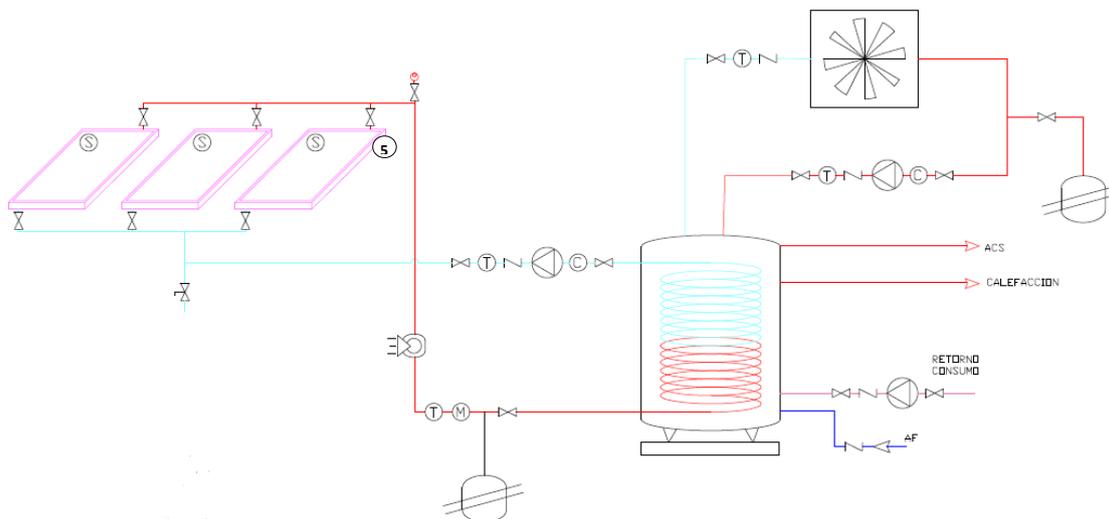


Imagen 32 Esquema de la instalación de energía solar de ACS+ calefacción de la vivienda utilizando una bomba de calor como equipo de energía auxiliar.

Este sistema elegido está compuesto por una unidad exterior y una unidad interior. En esta primera unidad se producirá el intercambio de energía entre el aire exterior y el fluido caloportador, produciéndose un cambio del fluido de

estado líquido a estado gaseoso generado por el aumento de su temperatura y de su entalpía, pero manteniéndose constante la presión. O lo que es lo mismo, la unidad exterior se comportará como un evaporador. Puntos 1 y 2 del diagrama de la Imagen 33.

A continuación, el fluido deberá pasar por el compresor, donde, además de elevar más aun la temperatura de este, sufrirá el proceso de compresión del gas y aumentará por tanto su presión y temperatura. Una vez alcanzada la compresión máxima del gas, punto 3 del diagrama, el fluido llegará a la unidad interior.

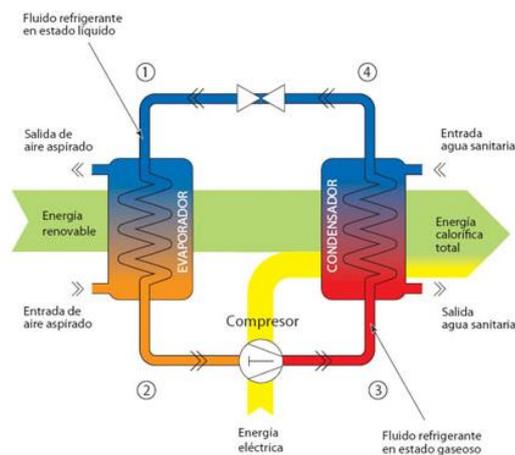


Imagen 34 Diagrama genérico de funcionamiento bomba de calor. [26]

En la unidad interior (condensador + acumulador), se produce un nuevo intercambio de entalpías debido al proceso de cesión de energía de este gas al fluido del acumulador. En este caso en el condensador se produce la cesión del calor entre ambos fluidos haciendo que el refrigerante de la bomba de calor comience a condensar volviendo a pasar este al estado líquido; mientras que el agua del acumulador se calienta hasta alcanzar la temperatura de consigna del acumulador prefijada en 60°C para evitar problemas como la legionela.

Según el fabricante elegido para nuestra instalación, podemos verificar todo lo hablado hasta el momento en el diagrama de la imagen 32, donde se puede apreciar que la unidad interior, la unidad exterior y el sistema de intercambio confluyen en el depósito de acumulación.

Por todo esto, atendiendo al funcionamiento y a las necesidades de nuestra vivienda, la elección del sistema ROTEX HPSU comentado anteriormente conlleva las siguientes características presentadas a continuación:

- El sistema se adapta a las necesidades de la vivienda proporcionando calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

- Sistema adaptado para trabajar a bajas temperaturas exteriores, hasta -25°C.
- Dimensiones compactas y de fácil instalación
- Aplicación flexible: es posible la combinación directa con un sistema solar térmico o con un sistema de calefacción existente
- Incluye una válvula sobrepresión

5.5.3.1. Unidad exterior

La unidad exterior elegida es la ROTEX HPSU Compact H/C Biv 011CAV3 508 de 11kw de potencia. Esta unidad está formada únicamente por un ventilador, lo que hace el sistema exterior más compacto y cuenta con las siguientes características:



Modelo	HPSU Compact H/C Biv 011CAV3
Tamaño	508
Potencia (kW)	11
Clase eficiencia energética	
Calefacción de espacios	
Calefacción de espacios con control integrado	
Eficiencia energética calentamiento del agua	
Datos básicos	
Potencia nominal de calefacción (kW)	7.7
Potencia máxima de calefacción (kW)	11.4
COP nominal	4.47
Modo de calefacción (temperaturas exteriores °C)	Min:-25/ Max: 35.
Modo de refrigeración (temperaturas exteriores °C)	Min:10/ Max: 46.
Potencia máxima de refrigeración (kW)	11.7

Unidad exterior	
Dimensiones (mm)	900 x 320 x 1345
Peso (kg)	114
Nivel de potencia sonora calefacción (dB)	51
Nivel de potencia sonora refrigeración (dB)	50
Refrigerante	R-410A
Carga de refrigerante (kg)	1.6

Tabla 22: Características Unidad exterior bomba de calor. [25]

5.5.3.2. Unidad interior

En el caso de la unidad interior, consiste en un circuito cerrado que intercambia energía en el depósito de acumulación a través de la configuración en serpentin del condensador. Esto nos garantiza la salubridad de nuestro sistema evitando la aparición de legionela. En la imagen 34 podemos observar el depósito de agua, el circuito de intercambio con el refrigerante y las conexiones posibles que ofrece este elemento.

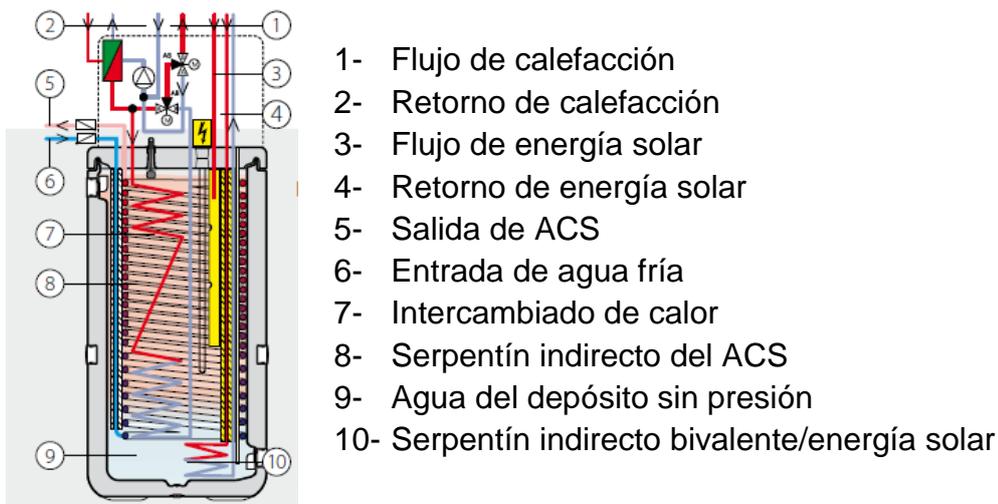


Imagen 34 Diagrama unidad interior compact de ROTEX. [25]

Las características de la unidad interior son:



Modelo	HPSU Compact H/C Biv 011CAV3
Tamaño	508
Potencia (kW)	8
Unidad interior	
Modo de calefacción (temperaturas exteriores °C)	Min:15/ Max: 55
Modo de refrigeración (temperaturas exteriores °C)	Min:5/ Max: 22.
Dimensiones (mm)	595 x 615 x 1945
Peso (kg)	92
Capacidad deposito acumulador (l)	500

Tabla 23: Características Unidad interior bomba de calor. [25]

5.5.4. Bomba de calor como fuente de energía renovable

En el cuarto caso, plantaremos la necesidad de colocar solo una bomba de calor como energía renovable, es decir, no utilizaremos la energía solar como fuente de energía renovable como ha ocurrido en los tres anteriores apartados si no que plantaremos esta opción con el esquema de la imagen 34 y en el plano nº36 del anexo planos.

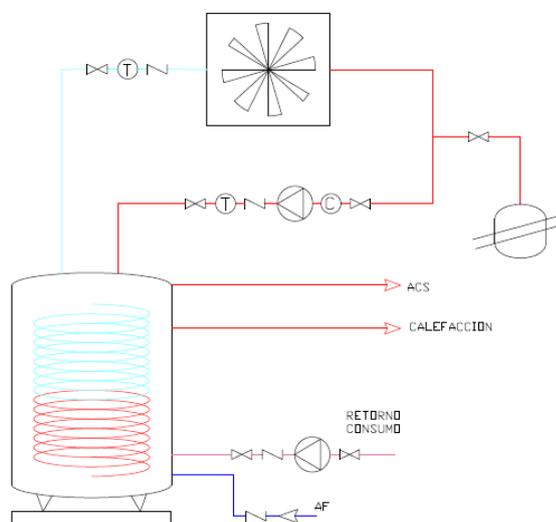


Imagen 35: esquema de principio de una bomba de calor como fuente de energía renovable para ACS y calefacción

Para este apartado, tendremos que proporcionar las bases que podemos utilizar y que nos cumpla con el CTE. En este, se plantea la posibilidad de utilizar como fuente de energía destinada a la climatización únicamente la bomba de calor. Si bien es cierto, que este uso deberá realizarse solo si esta se puede considerar que su contribución renovable, es decir, la bomba de calor dispone de un rendimiento estacional $SCOP_{dhw}$ superior a 2.5 cuando sean accionadas eléctricamente y superior a 1.15 mediante energía térmica; además, la temperatura de preparación del ACS no será inferior a 45°C.

Con lo planteado hasta ahora, nuestra elección deberá ser tal que cubra las necesidades de toda la vivienda, es decir, deberá no solo cubrir las necesidades de ACS habladas, sino que como fuente de energía deberá proporcionarnos el calor suficiente para el sistema de calefacción.

Partiendo de las necesidades establecidas anteriores de cubrir una potencia de 9.5 kW y un volumen de 500 l, entre los distintos fabricantes, nuestra elección ha sido la misma que para el caso de energía solar con bomba de calor, solo haciendo el cambio de la existencia de toma para sistema solar o no. Por consiguiente, el modelo utilizado será el ROTEX HPSU Compact.

Eligiendo como unidad exterior y unidad interior HPSU Compact H/C Biv 011CAV3 508.

Justificando la utilización de la bomba, deberemos ver, según el reglamento europeo 56/2016 [27], cómo se denominan las bombas de calor o qué etiqueta se atribuye a cada una de las designaciones de ratios SCOP. Por ese motivo, en este reglamento se nos establece que para una etiqueta o clase de eficiencia energética inferior a E en cuanto al rendimiento de calefacción, no cumpliría con las exigencias para poder tratarse como energía renovable. En nuestro caso, en el catálogo se nos establece una etiqueta A⁺⁺, por lo que nuestra elección es factible de utilizar para el caso que se nos atribuye.

6. Resultados

Como se ha explicado al principio del proyecto, el objetivo de este es la elección de un sistema de energía auxiliar bajo el punto de vista del análisis energético y económico de entre las cuatro opciones descritas en el apartado 6.3.

Bajo el apartado de análisis energético, se realizará un estudio de las necesidades energéticas de cada una de las alternativas de instalación auxiliar calculando en primer lugar los consumos energéticos que conllevan cada una de las alternativas, a partir del consumo de energía auxiliar y su rendimiento correspondiente, como se ve en la ecuación 13. A continuación de esto, se procederá al cálculo de las emisiones de partículas contaminantes de CO₂ que se emiten al medio ambiente.

$$\text{Consumo de energía final} = \frac{\text{Demanda energía auxiliar}}{\text{rendimiento equipo}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 = \text{consumo energía final} \times \text{factor de emisión} \quad \text{Ec. 14}$$

Basándonos en este procedimiento, calcularemos las emisiones equivalentes de CO₂ aplicando un factor de emisión de CO₂ al consumo de energía final calculado inicialmente aplicando la ecuación 14. Este factor de emisión viene recogido en la Guía Técnica del IDAE [9], donde se establecen los kilogramos equivalentes de dióxido de carbono que se producen en la generación y distribución de energía final. Tabla 21

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(****)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(****)	0,018	neutro

- (*) Valor obtenido de la Propuesta de Documento Reconocido: Valores aprobados en Comisión Permanente de Certificación Energética de Edificios de 27 de Junio de 2013, actualizado al periodo considerado.
- (**) Según cálculo del apartado 5 de [].
- (***) Basado en el informe "Well to tank Report, versión 4.0" del Joint Research Intitute.
- (****) Valores utilizados, a fecha de redacción del informe, en CALENER, CE3 y CEX según Documento reconocido "Escala de calificación energética para edificios existentes"

Tabla 24 Factores de conversión de energía final [9].

Mientras que en apartado económico, se planteará el estudio de viabilidad de dichos sistemas teniendo en cuenta 4 factores iniciales: los costes de producción de la energía a emplear, los costes de la instalación y mano de obra, el valor neto de la instalación (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) de la instalación.

Para realizar los dos primeros análisis, nos apoyaremos en los catálogos comerciales de cada una de las instalaciones. Mientras que para los cálculos del VAN aplicaremos la ecuación 15 teniendo en cuenta la inversión inicial (I), las ganancias anuales o flujos de caja (C_n), consideradas como el ahorro anual comparando la instalación actual con una caldera de gas convencional sin aporte solar, y la tasa de descuento (IPC) tomada del 2.5%. Consideraremos a la hora de aplicar esta ecuación, que el tiempo útil de utilización de la instalación es de 20 años (n).

$$VAN = -I + \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. 15}$$

Una vez concluido el cálculo del VAN, procederemos a calcular la tasa interna de retorno a través de la ecuación 16. En esta ecuación la incógnita que deberemos calcular es la tasa de descuento (k) la cual nos dará una idea de la rentabilidad de la instalación.

$$TIR = 0 = -I + \frac{C_n}{(1+k)^n} \quad \text{Ec. 16}$$

Para finalizar con el trabajo, se procederá con la comparación de los cuatro sistemas ante dichos estudios y la elección de la mejor.

Por lo tanto, podremos decir que este apartado trataremos de realizar un estudio financiero y energético para llegar a la elección de utilización de la fuente de energía más eficiente y rentable.

6.1.Opción 1. Instalación de paneles solares + caldera convencional

Siguiendo el mismo esquema planteado inicialmente, comenzaremos el estudio basándonos en el uso de una caldera convencional de gas natural como fuente de energía secundaria o de apoyo.

6.1.1. Análisis energético

En esta primera sección realizaremos los cálculos basándonos en el aspecto técnico, olvidándonos de la rentabilidad y viabilidad económica que tendremos en cuenta en el siguiente apartado.

En este análisis energético, como se ha explicado anteriormente, comenzaremos calculando el consumo energético que conlleva el uso de este sistema como fuente de energía auxiliar. En este cálculo nos basaremos en las tablas 5 y 7 de este documento sobre las necesidades energéticas requeridas en la vivienda para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria y de calefacción.

Desde el punto de vista de la instalación de una caldera convencional de gas natural, en el cálculo de los consumos, necesitaremos apoyarnos de las características técnicas que tiene dicho equipo, en particular en su rendimiento. En este caso, la eficiencia máxima de la caldera se considera del 92.6% y aplicando la ecuación 13, el consumo resultante es de 4033,71 kWh.

$$\text{Consumo de gas natural} = \frac{3735,22 \text{ kWh}}{0,926} = 4033,71 \text{ kWh}$$

Continuando con el cálculo de las emisiones equivalentes de CO₂ a partir de la ecuación 14, tendremos que tener en cuenta los consumos de materias primas calculados anteriormente y los factores de conversión de emisiones del IDAE [9] de la tabla 21. Calculando con dichos datos las emisiones de dióxido de carbono que se emiten a la atmósfera con este equipo de energía auxiliar tenemos un valor de:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 4033,71 \text{ kWh} * 0,204 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh} = 822,88 \text{ kg CO}_2$$

Teniendo en cuenta las emisiones producidas en los próximos 20 años (tiempo estimado de vida de las instalaciones), suponiendo que las emisiones se mantienen constantes a lo largo del tiempo:

1 año	822,9 kg CO ₂	11 año	9051,7 kg CO ₂
2 año	1645,8 kg CO ₂	12 año	9874,5 kg CO ₂
3 año	2468,6 kg CO ₂	13 año	10697,4 kg CO ₂
4 año	3291,5 kg CO ₂	14 año	11520,3 kg CO ₂
5 año	4431,6 kg CO ₂	15 año	12343,2 kg CO ₂
6 año	4937,3 kg CO ₂	16 año	13166,0 kg CO ₂
7 año	5760,1 kg CO ₂	17 año	13988,9 kg CO ₂
8 año	6583,0 kg CO ₂	18 año	14811,8 kg CO ₂
9 año	7405,9 kg CO ₂	19 año	15634,7 kg CO ₂
10 año	8228,8 kg CO ₂	20 año	16457,6 kg CO ₂

Tabla 25 Emisiones CO₂ producidas al cabo de 20 años

6.1.2. Análisis económico.

Con el objetivo de comprobar la viabilidad económica de este sistema de apoyo de energía comenzamos los cálculos según lo establecido en el apartado anterior.

Comenzaremos inicialmente con los gastos de producción partiendo de los datos calculados anteriormente de consumo de energía primaria, en este caso para una caldera convencional de gas natural considerando que se estima la variación de los precios en el transcurso de los siguientes años aumente anualmente un 5% sobre el coste del año anterior.

Solar + bomba de calor			
Consumo energía mensual auxiliar		4033,71 kWh	
Tipo energía final		Gas natural	
Precio energía final		0,0507 €/kwh	
Coste energía final		204,51 €	
Aumento estimado anual		5%	
1 año	204,51 €	11 año	333,12 €
2 año	214,73 €	12 año	349,78 €
3 año	225,47 €	13 año	367,27 €
4 año	236,75 €	14 año	385,63 €
5 año	248,58 €	15 año	404,91 €
6 año	261,01 €	16 año	425,16 €
7 año	274,06 €	17 año	446,42 €
8 año	287,77 €	18 año	468,74 €
9 año	302,15 €	19 año	492,18 €
10 año	317,26 €	20 año	516,79 €
Total operación		6762,3 €	

Tabla 26 Costes debidos al consumo de energía final

Otro de los costes que tendremos que tener en cuenta a la hora de nuestro estudio serán aquellos relacionados con la compra de los elementos materiales más la mano de obra de ejecución de la instalación. El precio de cada elemento que componen las instalaciones recogidos en los catálogos de los propios fabricantes.

En nuestro caso, la inversión inicial de la instalación de energía solar con una caldera convencional de gas natural es:

	Solar + caldera convencional
Mano de obra instalación	1200 €
Generador de calor + kits instalación	
Unidad interior	1800 €
Captadores solares x 3	2364 €
Kits Instalación solar	879 €
Bomba de impulsión	195 €
Elementos extras Instalación solar	96 €
Acumulador	1576 €
Total	8319 €

Tabla 27 Costes de la instalación de solar + caldera convencional

Sumando estos dos costes relacionados directamente como son el valor monetario inicial de la instalación con el valor operacional de combustible, podemos calcular el desembolso que se ha de realizar en dicha instalación. Total de 15081,3 €.

Desde el punto de la viabilidad del proyecto, calcularemos el VAN y el TIR comparándolo con la opción de caldera convencional de gas sin aporte de energía renovable, considerando el ahorro anual entre el uso de esta primera con la de estudio como flujo de caja. Por consecuencia, calcularemos en la tabla 25 el ahorro correspondiente a esta opción teniendo en cuenta que el aporte energético de la caldera convencional vendrá dado todo como energía auxiliar, sin aporte de energía renovable.

	Solar + caldera convencional	caldera convencional	Ahorro anual (€)
Consumo energía	4033,72	6784,12618	-
Tipo energía final	Gas natural	Gas natural	-
Precio energía final	0,05 €	0,05 €	-
Aumento estimado anual	5%	5%	-
1 año	204,51 €	343,96 €	139,45
2 año	214,73 €	361,15 €	146,42
3 año	225,47 €	379,21 €	153,74
4 año	236,75 €	398,17 €	161,43
5 año	248,58 €	418,08 €	169,50
6 año	261,01 €	438,98 €	177,97
7 año	274,06 €	460,93 €	186,87
8 año	287,77 €	483,98 €	196,21

9 año	302,15 €	508,18 €	206,02
10 año	317,26 €	533,59 €	216,33
11 año	333,12 €	560,27 €	227,14
12 año	349,78 €	588,28 €	238,50
13 año	367,27 €	617,69 €	250,42
14 año	385,63 €	648,58 €	262,95
15 año	404,91 €	681,01 €	276,09
16 año	425,16 €	715,06 €	289,90
17 año	446,42 €	750,81 €	304,39
18 año	468,74 €	788,35 €	319,61
19 año	492,18 €	827,77 €	335,59
20 año	516,79 €	869,16 €	352,37
Total (€)	6762,30	11373,21	4610,91

Tabla 28 Ahorro anual instalación opción 1 en comparación con caldera convencional

Aplicando la ecuación 15 del cálculo del VAN teniendo en cuenta los valores obtenidos en la tabla 25, obtenemos un resultado de:

$$VAN = -2\ 645,04\ €$$

Estudiando este resultado, según las características del VAN, al tener un valor negativo podríamos decir que la viabilidad económica o la rentabilidad de nuestro proceso no es correcta para nuestro estudio, pero hay que tener en cuenta que en el CTE es de obligado cumplimiento el uso de energías renovables y que en comparación con la caldera convencional el gasto de vida útil de este sistema es mayor en este caso, o lo que es lo mismo, el gasto de la instalación en comparación con la convencional es mayor a lo largo de los 20 años de vida de la instalación.

Si queremos calcular la tasa interna de retorno, aplicaremos la ecuación 16 anteriormente expuesta, obteniendo como valor de la constante de descuento de:

$$TIR = 0 \rightarrow k = -0.02$$

En este caso, obtenemos un valor de tasa de descuento negativo. El criterio de selección del TIR nos establece que, si obtenemos un valor de k negativo, deberemos rechazar la inversión, pero en este caso al ser un uso impuesto el de la energía renovable, estudiaremos en conjunto cuál de las cuatro opciones tiene una mayor rentabilidad.

6.2.Opción 2. Instalación de paneles solares + Caldera de condensación

En la segunda opción, se encuentra la instalación de energía solar con caldera de condensación como sistema auxiliar.

De la misma manera que hemos hecho en el caso anterior, se realizará un estudio energético y económico de dicha opción para finalmente poder compararlo en el último apartado del trabajo.

6.2.1. Análisis energético

En esta segunda opción, la energía necesaria a cubrir en la vivienda viene suministrada por un sistema de captación mediante paneles solares como fuente de energía renovable y una caldera de condensación que funciona mediante la combustión del gas natural como sistema de apoyo.

Igual que antes, desde el punto de vista de la instalación de la caldera de condensación considerando según el catálogo una eficiencia máxima de la caldera se considera del 110%, el consumo resultante a partir de la ecuación 13 es de 3395,7 kWh.

$$\text{Consumo de gas natural} = \frac{3735,2 \text{ kWh}}{1,1} = 3395,7 \text{ kWh}$$

En el caso del estudio de las emisiones de CO₂ utilizaremos como apoyo los resultados obtenidos de la tabla 24 y aplicaremos la ecuación 14 para calcular las emisiones correspondientes en este caso:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 3395,7 \text{ Kwh} * 0.204 \text{ kg CO}_2 / \text{Kwh} = 692,7 \text{ kg CO}_2$$

Utilizando este valor obtenido, podemos comprobar que las emisiones durante los próximos 20 años serán las mostradas la tabla 29:

1 año	692,7 kg CO ₂	11 año	7619,9 kg CO ₂
2 año	1385,4 kg CO ₂	12 año	8312,6 kg CO ₂
3 año	2078,1 kg CO ₂	13 año	9005,3 kg CO ₂
4 año	2770,9kg CO ₂	14 año	9698,0 kg CO ₂
5 año	3463,6 kg CO ₂	15 año	10390,7 kg CO ₂
6 año	4156,3 kg CO ₂	16 año	11083,4 kg CO ₂
7 año	4849,0 kg CO ₂	17 año	11776,1 kg CO ₂
8 año	5541,7 kg CO ₂	18 año	12468,8 kg CO ₂
9 año	6234,4 kg CO ₂	19 año	16457,6 kg CO ₂
10 año	6927,1 kg CO ₂	20 año	17726,4 kg CO ₂

Tabla 29 Emisiones CO₂ producidas al cabo de 20 años.

6.2.2. Análisis económico

De la misma manera que se ha realizado en apartados anteriores el análisis económico, comenzaremos estudiando el coste de la instalación, el coste operacional a 20 años y su viabilidad económica en base a una caldera convencional sin apoyo de energía solar para después poder compararlo con las otras tres opciones en el apartado final de resultados.

Igual que antes, comenzamos con los cálculos partiendo de los valores de energía consumida por la instalación con el fin de calcular el gasto anual y el gasto operacional a 20 años tomando como un aumento del combustible del 5% sobre el año anterior.

Solar + caldera de condensación			
Consumo energía mensual auxiliar		3395,7 kWh	
Tipo energía final		Gas natural	
Precio energía final		0,05 €/kWh	
Coste energía final		172,16 €	
Consumo energía mensual auxiliar		5%	
1 año	172,16 €	11 año	280.43 €
2 año	180,77 €	12 año	294.45 €
3 año	182,64 €	13 año	309.17 €
4 año	199,30 €	14 año	324.63 €
5 año	209,26 €	15 año	340.86 €
6 año	219,72 €	16 año	357.91 €
7 año	230,71 €	17 año	375.80 €
8 año	242,25 €	18 año	394.59 €
9 año	254,36 €	19 año	414.32 €
10 año	267,08 €	20 año	435.04 €
Total operación		5685,46 €	

Tabla 30 Costes debidos al combustible

En los catálogos comerciales encontramos información sobre los distintos elementos que componen la instalación, podremos realizar un presupuesto aproximado del gasto inicial que supone el montaje de este sistema:

	Solar + caldera de condensación
Mano de obra instalación	1.200€
Generador de calor + kits instalación	
Unidad interior	4.260 €
Captadores solares x 3	2364 €
Acumulador	1875 €
Kits Instalación solar	879 €
Bomba de impulsión	195 €
Elementos extras Instalación solar	96 €
Total	10779 €

Tabla 31 Costes de la instalación de solas + caldera de condensación

Calculando los costes monetarios a partir de lo calculado hasta ahora, nos resulta un coste de 16464,46 € contando con el gasto operacional en 20 años.

En cuanto a la viabilidad económica, calculando el VAN y el TIR. Para este cometido, comenzaremos calculando el ahorro anual que conlleva el uso de la instalación de energía solar junto con una caldera de condensación en relación a la caldera convencional.

	Solar + caldera condensación	caldera convencional	Ahorro anual (€)
Consumo energía	3395,7	6784,12618	-
Tipo energía final	Gas natural	Gas natural	-
Precio energía final	0,05 €	0,05 €	-
Aumento estimado anual	5%	5%	-
1 año	172,16 €	343,96 €	171,80
2 año	180,77 €	361,15 €	180,39
3 año	182,64 €	379,21 €	196,57
4 año	199,30 €	398,17 €	198,87
5 año	209,26 €	418,08 €	208,82
6 año	219,72 €	438,98 €	219,26
7 año	230,71 €	460,93 €	230,22
8 año	242,25 €	483,98 €	241,73
9 año	254,36 €	508,18 €	253,82
10 año	267,08 €	533,59 €	266,51
11 año	280,43 €	560,27 €	279,84
12 año	294,45 €	588,28 €	293,83
13 año	309,17 €	617,69 €	308,52
14 año	324,63 €	648,58 €	323,95
15 año	340,86 €	681,01 €	340,14
16 año	357,91 €	715,06 €	357,15
17 año	375,80 €	750,81 €	375,01
18 año	394,59 €	788,35 €	393,76
19 año	414,32 €	827,77 €	413,45
20 año	435,04 €	869,16 €	434,12
Total (€)	5685,46	11373,21	5687,74

Tabla 32: Ahorro anual instalación opción 2 en comparación con caldera convencional

Aplicando las ecuación 14 y 15 utilizando los datos de la tabla 29:

$$VAN = -4\ 117,11€$$

$$TIR = 0 \rightarrow k = -0,031$$

En este caso, al igual que pasaba en el anterior opción, tanto el VAN como el TIR nos dan valores negativos en comparación con la caldera convencional sin aporte de energía solar. Igual que anteriormente, este valor se refiere a que en comparación de este sistema, esta opción es menos rentable que la de comparación.

6.3.Opción 3. Instalación de paneles solares + Bomba de calor

Como se ha comentado en los anteriores apartados, la tercera opción elegida entre nuestros casos de estudio consiste en el uso de una bomba de calor como sistema de apoyo en la instalación de energía solar térmica.

6.3.1. Análisis energético

En el análisis energético de la instalación mediante sistema de energía auxiliar basado en bomba de calor necesitaremos introducir un nuevo concepto para el caso particular de estudio de sistema de energía solar con un sistema de apoyo basado en una bomba de calor. Este concepto, relacionado con la bomba de calor es el nivel de eficiencia energética, SCOP también denominado rendimiento estacional para calefacción, que permitirá conocer cuál es el consumo real del equipo.

$$SCOP = \frac{\text{Calor entregado a la vivienda}}{\text{Energía eléctrica consumida}} \quad \text{Ec. 17}$$

El etiquetado energético del sistema elegido en el apartado 5.6.1. permite calcular el SCOP de la bomba de calor. En la tabla 24, plantea que la etiqueta correspondiente a este sistema es la A++ que corresponde según el reglamento europeo 56/2016 [27] a un SCOP entre 4.6 y 5.1. Pero si bien es cierto que estamos realizando en todo momento los cálculos desde el punto de vista más conservador, se elegirá de la misma manera el SCOP más conservador. Redimiendo estacional de calefacción de 4.6.

Por lo tanto, se podrá calcular el consumo energético procedente del sistema auxiliar a partir de la ecuación 13, teniendo en cuenta que la fuente de suministro de la bomba de calor es eléctrica, será de 812 kWh/año.

$$\text{Energía eléctrica consumida} = \frac{3735,2 \text{ kWh}}{4.6} = 812 \text{ kWh}$$

Una vez calculada el consumo de energía eléctrica utilizada en este sistema, necesitaremos calcular las emisiones de CO₂ que emite este sistema apoyándonos en la tabla 21. Realizándolo bajo el mismo procedimiento que se ha realizado anteriormente:

$$\text{Emisiones CO}_2 = 812 \text{ kWh} * 0.649 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh} = 527 \text{ kg CO}_2$$

Teniendo en cuenta las emisiones producidas en los próximos 20 años (tiempo estimado de vida de las instalaciones), suponiendo que las emisiones se mantienen constantes a lo largo del tiempo:

1 año	527,0 kg CO ₂	11 año	5796,9 kg CO ₂
2 año	1054,0 kg CO ₂	12 año	6323,9 kg CO ₂
3 año	1581,0 kg CO ₂	13 año	6850,9 kg CO ₂
4 año	2108,0 kg CO ₂	14 año	7377,9 kg CO ₂
5 año	2635,0 kg CO ₂	15 año	7904,9 kg CO ₂
6 año	3161,9 kg CO ₂	16 año	8431,9 kg CO ₂
7 año	3688,9 kg CO ₂	17 año	8958,8 kg CO ₂
8 año	4215,9 kg CO ₂	18 año	9485,8 kg CO ₂
9 año	4742,9 kg CO ₂	19 año	10012,8 kg CO ₂
10 año	5269,9 kg CO ₂	20 año	13854,3 kg CO ₂

Tabla 33 Emisiones CO₂ producidas al cabo de 20 años.

6.3.2. Análisis económico

De la misma manera que hemos planteado en las anteriores opciones, se estudiará el gasto de producción del primer año a la vez que se estima la variación de los precios en el transcurso de los siguientes años. En el caso de la energía eléctrica, se estima que aumente anualmente un 3% sobre el coste del año anterior.

Solar + bomba de calor			
Consumo energía mensual auxiliar	812 kWh		
Tipo energía final	Energía eléctrica		
Precio energía final	0,15 €/kWh		
Coste energía final	123,99 €		
Aumento estimado anual	3%		
1 año	123,99 €	11 año	166,64 €
2 año	127,71 €	12 año	171,64 €
3 año	131,54 €	13 año	176,78 €
4 año	135,49 €	14 año	182,09 €
5 año	139,56 €	15 año	187,55 €
6 año	143,74 €	16 año	193,18 €
7 año	148,05 €	17 año	198,97 €
8 año	152,50 €	18 año	204,94 €
9 año	157,07 €	19 año	211,09 €
10 año	161,78 €	20 año	217,42 €
Total operación		3331,74 €	

Tabla 34: Costes debidos al combustible

Teniendo en cuenta el resto de costes debido a los materiales de la instalación, así como a la mano de obra según como se muestra en los catálogos, la inversión inicial de la instalación de energía solar con bomba de calor es:

	Solar + caldera de condensación
Mano de obra instalación	2.800€
Generador de calor + kits instalación	
Unidad exterior	3.985 €
Unidad interior	8.461 €
Captadores solares x 3	2364 €
Kits Instalación solar	879 €
Bomba de impulsión	195 €
Elementos extras Instalación solar	96 €
Total	18780 €

Tabla 35 Costes de la instalación de solas + bomba de calor

Sumando estos dos costes relacionados directamente como son el valor monetario inicial de la instalación con el valor operacional de combustible, podemos calcular el desembolso que se ha de realizar en dicha instalación. Total de 22 111,74 €.

Calculando el ahorro anual en comparación con el uso de una instalación de energía convencional:

	Solar + bomba de calor	caldera convencional	Ahorro anual (€)
Consumo energía	3395,7	6784,12618	-
Tipo energía final	Energía eléctrica	Gas natural	-
Precio energía final	0,15 €	0,05 €	-
Aumento estimado anual	3%	5%	-
1 año	123,99 €	343,96 €	219,96
2 año	127,71 €	361,15 €	233,44
3 año	131,54 €	379,21 €	247,67
4 año	135,49 €	398,17 €	262,68
5 año	139,56 €	418,08 €	278,52
6 año	143,74 €	438,98 €	295,24
7 año	148,05 €	460,93 €	312,88
8 año	152,50 €	483,98 €	331,48
9 año	157,07 €	508,18 €	351,11

10 año	161,78 €	533,59 €	371,80
11 año	166,64 €	560,27 €	393,63
12 año	171,64 €	588,28 €	416,64
13 año	176,78 €	617,69 €	440,91
14 año	182,09 €	648,58 €	466,49
15 año	187,55 €	681,01 €	493,46
16 año	193,18 €	715,06 €	521,88
17 año	198,97 €	750,81 €	551,84
18 año	204,94 €	788,35 €	583,41
19 año	211,09 €	827,77 €	616,68
20 año	217,42 €	869,16 €	651,74
Total (€)	3331,74	11373,21	8041,47

Tabla 36: Ahorro anual instalación opción 3 en comparación con caldera convencional

Realizando los cálculos del VAN y el TIR a partir de los datos anteriores:

$$VAN = -10\,395,34 \text{ €}$$

$$TIR = 0 \rightarrow k = -0,066$$

Igual que en los casos anteriores, si comparamos con la caldera convencional sin apoyo energético obtenemos como resultado que nuestra instalación no es rentable aunque se nos obligue por normativa al uso de energías renovables.

6.4.Opción 4. Bomba de calor

Como cuarta opción se ha planteado la utilización de un sistema de energía basado únicamente en una bomba de calor como fuente de energía renovable como único sistema de suministro de energía. Es decir, esta opción sustituye a la instalación de energía solar térmica aportando todas las necesidades térmicas con la bomba de calor.

6.4.1. Análisis energético

Comenzando con el análisis energético en este caso, se considera que toda la energía necesaria para cubrir la demanda proviene de la bomba de calor. Es por este motivo que en los posteriores cálculos, se plantearán a partir del 100% de la energía demandada.

De la misma manera que se ha explicado para el primer caso, el cómputo de las necesidades eléctricas de la bomba de calor se calculará a partir del nivel de eficiencia energética del sistema elegido. Como en este caso la bomba de calor establecida es la misma que en la primera comparación, ya contamos con el valor del SCOP. Rendimiento estacional de calefacción de 4.6. Aplicando la misma igualdad de la ecuación 13 y tomando como base los datos

de la tabla 12, obtenemos un valor de energía eléctrica consumida de 1365,7 kWh.

$$\text{Energía eléctrica consumida} = \frac{6282,1 \text{ kWh}}{4.6} = 1365,7 \text{ kWh}$$

Continuando con el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono, volveremos a plantear el cómputo en el mismo sentido que hemos realizado en los anteriores apartados, donde se toma la tabla 21 de referencia y junto con la energía eléctrica obtenida anteriormente se llega a obtener dicho valor.

$$\text{Emisiones } CO_2 = 1365,7 \text{ Kwh} * 0.649 \text{ kg } CO_2 / \text{Kwh} = 886,3 \text{ kg } CO_2$$

Las emisiones acumuladas producidas durante los próximos 20 años se representan en la tabla inferior:

1 año	886,3 kg CO ₂	11 año	9749,5 kg CO ₂
2 año	1772,6 kg CO ₂	12 año	10635,9 kg CO ₂
3 año	2659,0 kg CO ₂	13 año	11522,2 kg CO ₂
4 año	3545,3 kg CO ₂	14 año	12408,5 kg CO ₂
5 año	4431,6 kg CO ₂	15 año	13294,8 kg CO ₂
6 año	5317,9 kg CO ₂	16 año	14181,2 kg CO ₂
7 año	6204,3 kg CO ₂	17 año	15067,5 kg CO ₂
8 año	7090,6 kg CO ₂	18 año	15953,8 kg CO ₂
9 año	7976,9 kg CO ₂	19 año	16840,1 kg CO ₂
10 año	8863,2 kg CO ₂	20 año	17726,4 kg CO ₂

Tabla 37 Emisiones CO₂ producidas al cabo de 20 años.

6.4.2. Análisis económico

Igualmente planteamos los mismos pasos que en los anteriores análisis económicos.

Comenzamos realizando un análisis económico referente a las necesidades de energía final del sistema para después plantear el coste de la instalación.

Bomba de calor	
Consumo energía mensual auxiliar	1365,7 kWh
Tipo energía final	Energía eléctrica
Precio energía final	0,15 €/kWh
Coste energía final	208,54 €
Aumento estimado anual	3%

1 año	208,54 €	11 año	280,26 €
2 año	214,79€	12 año	288,67 €
3 año	221,24 €	13 año	297,33 €
4 año	227,88 €	14 año	306,25 €
5 año	234,71 €	15 año	315,43 €
6 año	241,75€	16 año	324,90 €
7 año	249,01 €	17 año	334,64 €
8 año	256,48 €	18 año	344,68 €
9 año	264,17 €	19 año	355,02 €
10 año	272,10 €	20 año	365,67 €
Total operación		5603,51 €	

Tabla 38 Costes debidos al combustible

Para el coste de la instalación de la bomba de calor, tenemos que tener en cuenta que la instalación será la misma que en el primer caso a excepción de la carencia de un sistema de energía solar, por eso mismo, el presupuesto concerniente a la bomba es el mismo que en el primer caso.

	Bomba de calor
Mano de obra instalación	2.000€
Generador de calor + kits instalación	
Unidad exterior	3.985 €
Unidad interior	8.461 €
Total	14.446 €

Tabla 39: Costes de la instalación de bomba de calor

Calculando los costes monetarios a partir de lo calculado hasta ahora, nos resulta un coste de 20 049,51 € contando con el gasto operacional en 20 años.

Calculando el ahorro anual en comparación con el uso de una instalación de caldera convencional:

	Bomba de calor	caldera convencional	Ahorro anual (€)
Consumo energía	1365,67	6784,1	-
Tipo energía final	Energía eléctrica	Gas natural	-
Precio energía final	0,15 €	0,05 €	-
Aumento estimado anual	3%	5%	-
1 año	208,54 €	343,96 €	135,42
2 año	214,79 €	361,15 €	146,36
3 año	221,24 €	379,21 €	157,97

4 año	227,88 €	398,17 €	170,30
5 año	234,71 €	418,08 €	183,37
6 año	241,75 €	438,98 €	197,23
7 año	249,01 €	460,93 €	211,93
8 año	256,48 €	483,98 €	227,50
9 año	264,17 €	508,18 €	244,01
10 año	272,10 €	533,59 €	261,49
11 año	280,26 €	560,27 €	280,01
12 año	288,67 €	588,28 €	299,61
13 año	297,33 €	617,69 €	320,37
14 año	306,25 €	648,58 €	342,33
15 año	315,43 €	681,01 €	365,57
16 año	324,90 €	715,06 €	390,16
17 año	334,64 €	750,81 €	416,17
18 año	344,68 €	788,35 €	443,67
19 año	355,02 €	827,77 €	472,75
20 año	365,67 €	869,16 €	503,48
Total (€)	5685,46	11373,21	5769,7

Tabla 40: Ahorro anual instalación opción 4 en comparación con caldera convencional

Realizando para este caso el cálculo del VAN y el TIR vemos que obtenemos valores negativos tanto en el cálculo del VAN y del TIR debido a que dicha instalación al cabo de los 20 años no alcanza la rentabilidad o los costes de vida útil totales son mayores que con los comparados de una instalación con caldera convencional:

$$VAN = -7\,789,74 \text{ €}$$

$$TIR = 0 \rightarrow k = -0,053$$

6.5.Comparativa

En esta sección se realizará la elección de la instalación final de la vivienda. Para ello, tomaremos la decisión en base a los puntos anteriormente estudiados en cuanto al aspecto energético; gasto de combustibles y emisiones de dióxido de carbono; y en base al aspecto económico donde se ha estudiado el coste de la instalación y el coste de operación en 20 años.

Comenzando con el análisis de los datos, comenzaremos comparando los temas energéticos para después continuar con los económicos.

En el tema energético, lo primero que deberemos hacer será comparar la cantidad de energía consumida en cada una de las instalaciones apoyándose de los datos obtenidos en los apartados anteriores. En esta comparación habrá que tener en cuenta que en dos de estas instalaciones la fuente de energía vendrá proporcionada por la electricidad mientras que para las otras dos restantes serán de gas natural. Aun así, como se puede observar en la imagen

36, la opción de solar más caldera convencional sería la opción que más gasto energético necesitaría para alcanzar a cubrir toda la demanda de la casa mientras que la opción de solar más bomba de calor sería la que menos gasto energético ocasionaría.

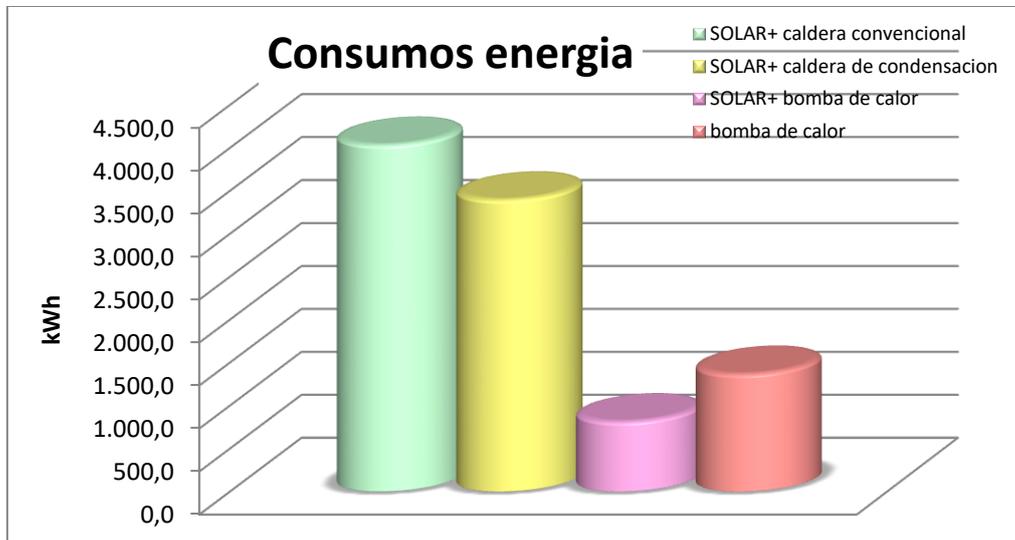


Imagen 36 Consumo de energía por instalación [kWh]

La siguiente comparativa que realizaremos será a través de las emisiones de CO₂ calculadas en las tablas 25, 29, 33 y 37. Todos estos valores los hemos recogido en la imagen 37 donde podemos observar que, aunque en el anterior caso, el sistema de solar más caldera convencional era el que más energía necesitaba, las emisiones de CO₂ por la combustión del gas natural no se considera tan alta como en el caso de la electricidad. Por ese motivo, el caso en el que nos encontramos con más emisiones es la cuarta opción, la de bomba de calor como energía renovable mientras que la opción de solar más bomba de calor resulta ser la menos contaminante de emisiones de CO₂.

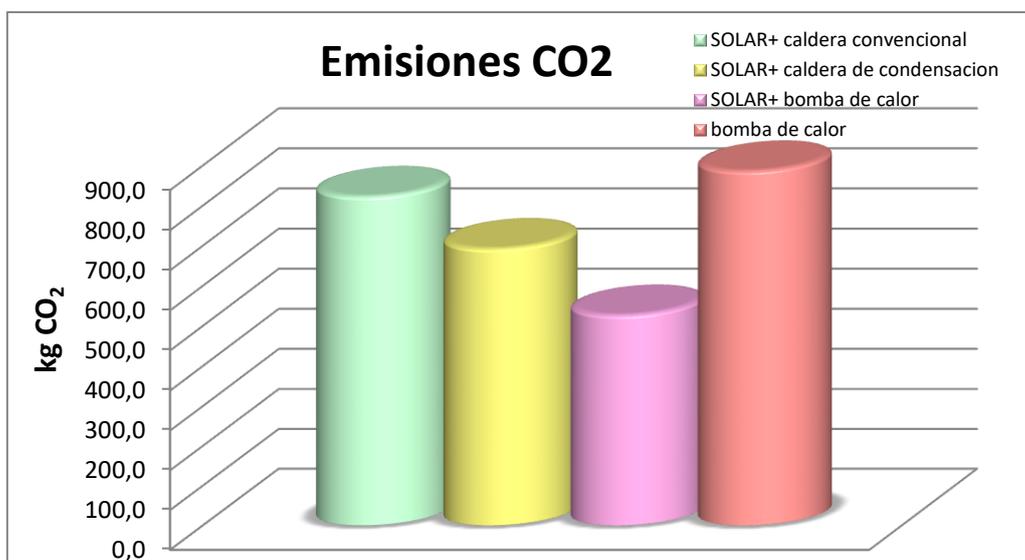


Imagen 37 Emisiones de CO₂ por instalación [kg CO₂]

Aun así, si atendemos a las emisiones de las instalaciones basándonos en las emisiones durante toda la vida útil considerada de estos aparatos, 20 años, consideramos que desde el punto de vista de las emisiones la mejor opción será la instalación de energía solar más bomba de calor.

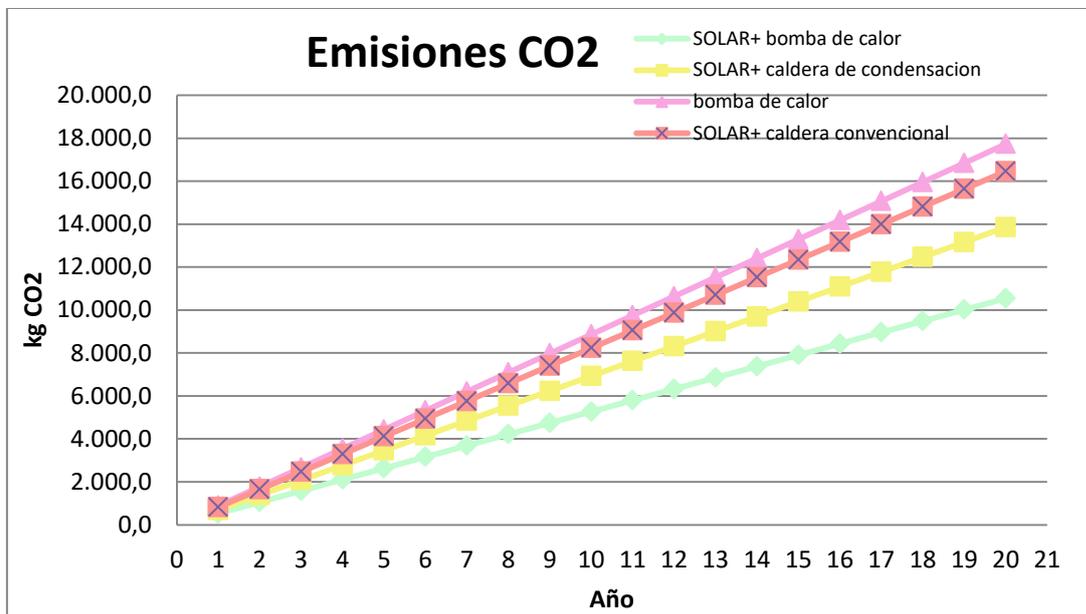


Imagen 38 Emisiones de CO₂ por instalación [kg CO₂/año]

Una vez realizadas las comparaciones energéticas de las instalaciones, pasaremos a realizar las comparaciones desde el punto de vista económico comenzando por el estudio de los costes de la instalación, de operación y de mano de obra en los 20 años de las instalaciones. Como se puede observar en la imagen 39, la instalación de energía solar más caldera de condensación sería la elección menos costosa para nuestra vivienda, siendo esta casi la mitad de la siguiente opción que es la de bomba de calor únicamente.

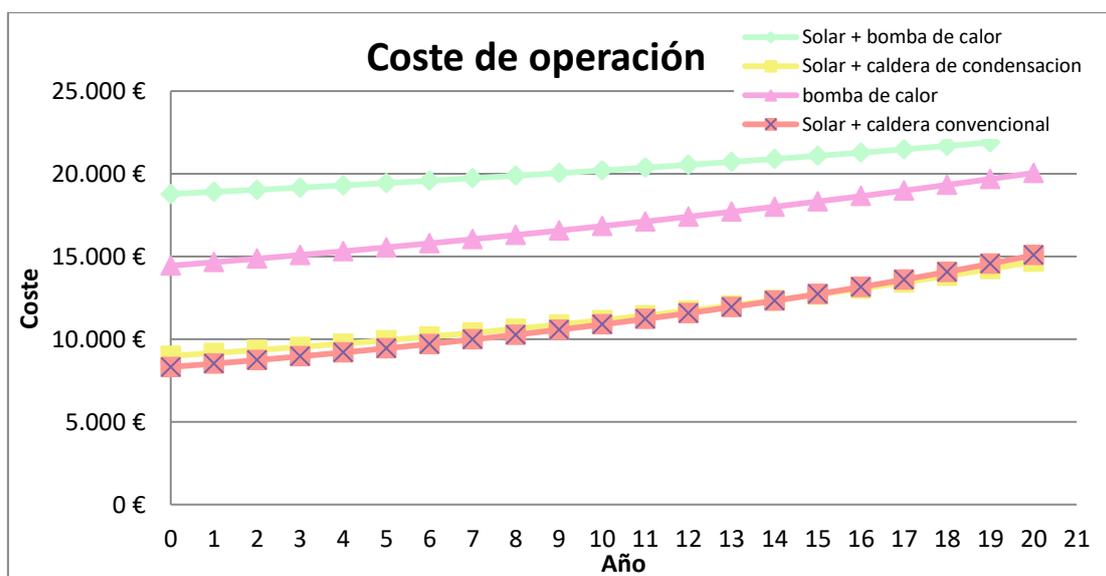


Imagen 39 Costes de operación por instalación

Desde el punto de vista comparativo de los cuatro sistemas de apoyo, tal y como se ha visto anteriormente realizando la comparación con una instalación de caldera convencional sin apoyo de energía ninguna de las cuatro opciones planteadas sería viable ya que el valor añadido de las instalaciones es negativo, o lo que es lo mismo, en comparación con esta primera monetariamente es más rentable la de referencia. Con respecto a la tasa interna de retorno estaríamos en el mismo caso (valores negativos de la tasa de retorno) donde nos indicaría que no sería rentable dichas instalaciones.

	Solar + caldera convencional	Solar + caldera de condensación	Solar + bomba de calor	bomba de calor
VAN	-2.465,04 €	-2.332,11 €	-10.395,34 €	-7.789,74 €
TIR	-0,02 €	-0,01 €	-0,066	-0,053

Tabla 41: Resumen comparativo viabilidad económica de los cuatro sistemas de apoyo

7. Conclusiones

A consecuencia del estudio realizado y ante las necesidades planteadas desde Europa de descarbonizar el stock de viviendas de partículas emisoras contaminantes a la atmosfera fundamentaremos principalmente nuestra elección final basándonos en los resultados obtenidos de los análisis energéticos. Aunque si bien es cierto, no podremos dejar de lado el análisis económico realizado. Es por eso que, aunque nuestra elección final será a partir de la contribución energética, buscaremos un equilibrio entre ambos estudios.

Desde el punto de vista económico se puede observar que las dos alternativas más económicas al cabo de 20 años son el sistema de energía solar con caldera de condensación y el sistema de energía solar con caldera convencional verificado a través de los valores del TIR (valores más bajos). Desde el punto del retorno de la inversión, partiendo que ninguna de las opciones es rentable con la instalación de referencia tomada, las dos opciones con caldera son las elecciones donde el retorno de la inversión es más bajo y más rentable (en torno al 2%).

Si por el contrario, nos fijamos en la perspectiva energética, comprobamos que los sistemas de apoyo con la opción 'más limpia' con respecto a emisiones contaminantes en 20 años son los sistemas de energía solar con bomba de calor y el sistema de energía solar con caldera de condensación.

Es por estos dos motivos la elección de nuestra vivienda será la implantación de una instalación térmica para cubrir las demandas de ACS y de calefacción basado en un sistema de captación solar junto con una caldera condensación. En esta elección se primado por lo tanto, las emisiones contaminantes y en segundo lugar las razones económicas.

8. Bibliografía

- [1] Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC). Código técnico de la edificación. Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, Gobierno de España. 2020 versión 2.0.2039.1160 para verificación del DB-HE 2019.
- [2] Centro nacional de Información Geográfica. Instituto geográfico nacional. Ministerio de Fomento. Gobierno de España
- [3] Dirección general del Catastro. Ministerio de hacienda. Gobierno de España.
- [4] *CTE DB HE*. Documento básico HE, Ahorro de Energía. 20 diciembre 2020.
- [5] *UNE-EN ISO 6946:2012* Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. International Standard.
- [6] *UNE-EN ISO 10077-1:2010/2012* Thermal performance of Windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General and Part 2: Numerical method for frames
- [7] *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Ministerio de vivienda. Gobierno de España. Mayo 008
- [8] RITE. Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Gobierno de España. Julio 2007.
- [9] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. 2020.
- [10] *CTE DB HS*. Documento básico HS, Salubridad. Junio 2017
- [11] Guía técnica de Energía solar Térmica del IDAE. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Gobierno de España. Abril 2020.
- [12] *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Instalaciones de energía solar térmica*. IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía. Enero 2009.
- [13] *CHEQ4. Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas*. Ministerio de industria, trabajo y comercio. Gobierno de España. 2020.

- [14] Catálogo Junkers de sistemas solares térmicos. Captadores solares. Grupo Bosch. 2019.
- [15] Catálogo comercial BAXI, la nueva climatización.2018.[16] *CTE DB HE*. Documento básico HE, Ahorro de Energía. Noviembre 2013.
- [17] Esquema instalación bitubo de calefacción. Blog Actitud ecológica: diferencia entre calefacción monotubo y bitubo. 2019.
- [18] Catálogo elementos radiantes Ferroli. 2020
- [19] *Guía técnica: Instalaciones de calefacción individual*. Ahorro y eficiencia energética en climatización. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. 2012.
- [20] UNE-EN 442:2015. Radiadores y convectores. Parte 1: Especificaciones y requisitos técnicos.
- [21] *UNE-EN ISO 1057*. Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción. 2007.
- [22] Esquema calderas convencionales. Blog: Calderas de condensación y principios básicos para el aprovechamiento eficaz del calor. 2018.
- [23] Catalogo Rotex bomba de calor aire/agua y caldera de condensación. Rotex, miembro del grupo Daikin. 2020.
- [24] Catálogo Junkers de sistemas solares térmicos. Captadores solares. Grupo Bosch. 2019.
- [25] Catalogo Rotex bomba de calor aire/agua y caldera de condensación. Rotex, miembro del grupo Daikin. 2020.
- [26] Esquema funcionamiento bomba de calor. Blog calor y frio: Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente
- [27] RD 56/2016. Real decreto 56/2016. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España. 2016

ANEXO CALCULOS

Tabla de contenido

1.	Datos generales de cálculo.....	1
1.1.	Datos climáticos	1
1.2.	Materiales	1
1.3.	Temperatura interior de diseño.....	3
2.	Cálculo carga térmica de diseño	5
2.1.	Transmitancia térmica	5
2.1.1.	Consideraciones iniciales	5
2.1.2.	Transmitancia térmica de los cerramientos de la envolvente térmica.....	11
2.1.3.	Pérdidas de carga	22
2.2.	Control solar de la envolvente térmica.....	36
2.3.	Permeabilidad al aire de la envolvente térmica	39
2.4.	Demanda térmica.....	40
3.	Demanda ACS.....	41
4.	Potencia mínima necesaria ACS + Calefacción.....	43
5.	Dimensionado de la instalación de calefacción	45
5.1.	Dimensionado de los elementos radiantes.....	45
5.2.	Sistema del circuito hidráulico	49
5.2.1.	Tuberías.....	49
5.2.2.	Bombas de impulsión	55
6.	Dimensionado de la instalación solar.....	61
6.2.	Generalidades	61
6.3.	Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica	61
6.4.	Sistema del circuito hidráulico	64
6.4.2.	Fluido caloportador	64
6.4.3.	Tuberías.....	66
6.3.3.	Bomba centrífuga.....	67
6.3.	Dimensionado de los captadores solares	69
7.	Bibliografía	71

1. Datos generales de cálculo

A la hora de comenzar a realizar los cálculos de las distintas demandas e instalaciones, deberemos plantear varias cuestiones que nos servirán de base para los siguientes apartados.

1.1. Datos climáticos

Para nuestros futuros cálculos, uno de los parámetros más importantes que deberemos utilizar es la temperatura exterior de diseño ' T_e ' que usaremos como base para calcular las pérdidas de energía a través de los cerramientos en la situación más desfavorable.

Esta temperatura representa los valores mínimos que se han obtenido en la localidad con un percentil determinado que se nos exige a usar según la guía técnica de las condiciones climáticas exteriores de proyecto [1]. En este documento, se establece que para los cálculos de viviendas el percentil a utilizar será del 99%. Sin embargo, en nuestro caso, como queremos dimensionar nuestra vivienda de la manera más desfavorable posible y a la vista de la ubicación del municipio (en el documento se establece la temperatura de la capital), este se encuentra a 70 km de la capital en dirección sur, y que las temperaturas recogidas en el municipio que en comparación con la capital son más frías, obtendremos por elegir el percentil del 99.6%.

Con todo esto, la temperatura exterior de diseño tomada con un percentil del 99.6 % será de -5.2°C .

1.2. Materiales

Como se ha explicado en los primeros apartados del documento de memoria, comenzaremos este trabajo calculando la demanda térmica de la envolvente térmica de una vivienda diseñada de nueva construcción. Para dichos cálculos tendremos que tener como referencias los diferentes cerramientos y huecos establecidos en el apartado 3.3 del documento de memoria y sus respectivas composiciones.

Partiendo de la composición de la envolvente térmica, lo primero que deberemos hacer será caracterizar cada uno de los materiales intervinientes en cada uno de los cerramientos tomando como documento de referencia el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE [2]. Esta caracterización de los elementos, vendrá dada por los valores de densidad, conductividad térmica y resistencia de los materiales al paso del calor, que utilizaremos más adelante en nuestros cálculos.

Estos materiales vienen agrupados en distintas divisiones dependiendo de la morfología del materiales: aislantes, maderas, hormigones, cerámicos, etc.

En la tabla 1, se exponen las características térmicas para los primeros cerramientos que encontraremos, los cerramientos opacos:

	<i>Tipología</i>	<i>Denominación material</i>	ρ	λ	R
			kg/m ³	W/m·K	W/m ² ·K
Pétreos y suelos	Rocas o suelos sedimentarios	Arena y grava	1700≤ρ≤2200	2,00	-
	Rocas o suelos sedimentarios	Arcilla o limo	1200≤ρ≤1800	1,50	-
Maderas	Paneles de madera	Tableros de fibras, incluyendo MDF	550≤ρ≤750	0,18	-
Hormigón	Hormigón armado	Tipo II	2300<ρ≤2500	2,30	-
	Hormigón de limpieza	Hormigón de limpieza	700	0,74	-
Mortero	Mortero de cemento	Cemento	1600<ρ≤1800	1,00	-
Enlucido	Enlucido de yeso	Yeso, dureza media	1000<ρ≤1300	0,57	-
Aislantes	Aislante térmico	XPS expandido con hidrofluorcarbonatos HCF	32	0,025	-
	Aislante térmico	Poliestireno Expandido (EPS)	32	0,029	-
	Aislante textil	Geotextil de poliéster	-	0,035	-
	Aislante acústico	Lana mineral	-	0,031	-
	Aislante contra el ruido	Poliestireno expandido EPS	30	0,029	-
Cerámicos	Azulejo cerámico	Azulejo cerámico	2300	1,3	-
	Ladrillo hueco doble gran formato GF	LDH doble GF (e=70 cm)	630	0,212	0,33
	Ladrillo hueco doble gran formato GF	LDH doble GF (e=90 cm)	930	0,273	0,33
	Ladrillo perforado	Caravista 1/2 pie 11,5 cm	1020	0,500	0,23
	Baldosa cerámica	Baldosa cerámica	2000	1,00	-
	Teja de arcilla	Teja	2000	1,00	-
Plásticos	Lamina de impermeabilización	Cloruro de polivinilo (PVC)	1390	0,17	-
Forjado unidireccional	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas canto 350 mm	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas canto 350 mm	1030	-	0,35

Tabla 1 Características térmicas materiales de los cerramientos opacos. [2]

En el caso del terreno, la parcela elegida tiene una composición de arena al 75.80%, limo al 12.08% y Arcilla en 12.12% según se establece en el catastro [3]. Interpolando estos valores con los de la tabla anterior, consideraremos una conductividad térmica (λ) de dicha capa de 1.879 W/mk.

Para las cámaras de aire, nos vendrán cuantificadas por el valor de la resistencia térmica como se observa en la tabla 2.

		R
		m²·K/W
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar horizontal (50 mm)	0,160
	Cámara de aire sin ventilar (20 mm)	0,170

Tabla 2 Resistencias térmicas cámaras de aire [m²K/W] [4]

Por último, nos quedaría establecer las características de los materiales que forman cada uno de los huecos. Como se observa en la tabla 3, para este tipo de cerramientos es importante la dirección de posicionado de los elementos, es decir, si están colocados en vertical u horizontal. Un elemento se considera que esta en horizontal cuando su ángulo con la horizontal no supere lo 60°, como es nuestro caso para los lucernarios del ático.

	Tipología	Denominación material	U_{H,v}	U_{H,v}	U_{H,m}	U_{H,m}
			<i>vertical</i>	<i>horizontal</i>	<i>vertical</i>	<i>horizontal</i>
			W/m ² ·K	W/m ² ·K	W/m ² ·K	W/m ² ·K
Vidrios	Unidades de vidrio aislante con vidrio laminar de baja permeabilidad	Vidrio climalit 4+12+4	1,4	2,1	-	-
Marcos	PVC	PVC (tres cámaras)	-	-	1,8	1,9
	Madera de densidad media alta	Madera puertas, interiores y exteriores	-	-	2	-

Dónde:

U_v Transmitancia térmica vidrio [W/m²K]

U_m Transmitancia térmica de marco [W/m²K]

Tabla 3 transmitancias térmicas de los huecos [W/m²K] [2]

1.3. Temperatura interior de diseño

En último lugar, necesitaremos conocer la temperatura interior de la vivienda que utilizaremos en los cálculos posteriores.

En este sentido, será el Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE [5] el que nos refleja las temperaturas interiores de los edificios para conseguir el bienestar óptimo de la gran mayoría de los habitantes como se observa en la tabla 4.

Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa	Humedad relativa
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 4 condiciones interiores de diseño [5]

En nuestro trabajo, intentaremos dimensionar la instalación para la estación más desfavorable, invierno, donde tomaremos la temperatura óptima de diseño interior de 23°C y una humedad relativa del 50%.

2. Cálculo carga térmica de diseño

En el apartado del cálculo de la carga térmica, será necesarios conocer varios parámetros que comenzaremos calculando con el fin de caracterizar el edificio y conocer su comportamiento energético.

2.1. Transmitancia térmica

Comenzamos calculando, las pérdidas de energía (transmitancia térmica) que transcurren entre los cerramientos.

2.1.1. Consideraciones iniciales

Para controlar la demanda térmica de una vivienda y según el nuevo reglamento de ahorro de energía, CTE DB HE [4], las nuevas construcciones deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- **Transmitancia de la envolvente térmica**

La primera restricción que nos encontraremos es una limitación en la cantidad de calor que se pierde a través del cerramiento de la envolvente. Entre estas limitaciones se encuentran limitaciones individuales de cada uno de los cerramiento (U_{lim}) y una limitación de la transmitancia de la envolvente global del edificio (K_{lim}).

En esta primera exigencia tendremos que tener en cuenta que la transmitancia de los cerramientos, U_{lim} , no debe superar los valores establecidos en la tabla 5 (fuente bibliográfica CTE DB HE (2020) [4]), donde viene dicho valor referenciado a la zona de edificación de nuestra construcción. En nuestro caso y apoyándonos en la tabla a del anejo B de dicho documento, la zona de edificación de nuestro edificio es la zona climática **D2**, correspondiente en la tabla inferior con la zona D.

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

Tabla 5 Valores límite de transmitancia térmica U_{lim} [W/m^2K]. [4]

La segunda exigencia a cumplir es la limitación en el valor de la envolvente global. Este no debe superar el valor establecido en la tabla 6 para una vivienda de nueva construcción y uso privado. Por consiguiente, junto con esta

tabla y utilizando como herramienta de apoyo el programa HULC [6], podemos obtener algunos valores necesarios para los cálculos. En este caso, la relación volumen interno de la vivienda (V), área de construcción (A) es $1.31 \text{ m}^3/\text{m}^2$, denominado como compacidad. Por lo que interpolado, como se nos comenta en la tabla, el K_{lim} para nuestra situación y edificio tiene que ser como mucho $0.50 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A \leq 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A \geq 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A \leq 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A \geq 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Tabla 6 Valor límite Klim [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] para uso residencial privado [4]

- Control solar de la envolvente térmica

En nuestro caso, al tener una vivienda de nueva construcción tenemos que tener en cuenta que el $q_{\text{sol};\text{jul}}$ no deberá sobrepasar nunca los $2 \text{ kWh}/\text{m}^2$ mostrados en la tabla 7 como se indica en la normativa del CTE DB HE [4]. Este control representa la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($q_{\text{sol};\text{jul}}$) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A_{util}). Puede aplicarse al edificio o a parte del mismo.

Uso	$q_{\text{sol};\text{jul}}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Tabla 7 Valor límite del parámetro de control solar, $q_{\text{sol};\text{jul},\text{lim}}$ [$\text{kWh}/\text{m}^2\text{-mes}$] [4]

- Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

Además de todos los parámetros anteriores, como nuestra vivienda excede de los 120 m^2 útiles, a partir de los cuales este parámetro entra en importancia, deberemos asegurar la estanqueidad al aire en las zonas más conflictivas como son las uniones entre los cerramientos opacos y los huecos. Todo esto, vendrá dado por un valor relacionado con el valor de compacidad hablado

anteriormente. En nuestro caso para valores V/A de $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$, la permeabilidad de aire deberá ser inferior a 6 h^{-1} :

Compacidad V/A [m^3/m^2]	n_{50}
$V/A \leq 2$	6
$V/A \geq 4$	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ($2 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

Tabla 8: Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa, n_{50} [h^{-1}] [4]

El cálculo de la transmitancia térmica de los elementos, U_k , se calculará teniendo en cuenta las dos normativas vigentes, en las cuales se hace distinción entre los procedimientos de cálculo para los elementos opacos y los cálculos de los huecos. Para los elementos opacos nos basaremos en la norma *UNE-EN ISO 6946* [7] y para los huecos en la normativa *UNE-EN ISO 10077-1* [8] y recogidas ambas en el DA DB HE [9].

En el primer caso, para cerramientos pertenecientes a la envolvente térmica, la transmitancia térmica viene dada por la siguiente ecuación, Ec.1:

$$U = \frac{1}{R_T} [W/m^2K] \quad \text{Ec.1}$$

Donde R_T es la resistencia térmica total del elemento constructivo [$\text{m}^2\text{K/W}$].

Considerando que para el cálculo de la resistencia térmica total R_T se necesita conocer todas las resistencias de los elementos que constituyen el cerramiento, esta se puede calcular aplicando la Ec.2:

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_{se} [W/m^2K] \quad \text{Ec.2}$$

Siendo:

R_{si} y R_{se} Resistencias térmicas superficiales del aire interior y exterior respectivamente [$\text{m}^2\text{K/W}$], ver valores tabla 9, de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor.

R_n Resistencia de cada una de las capas del cerramiento [$\text{m}^2\text{K/W}$]

Resistencia de la superficie $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Dirección del flujo de calor		
	Cerramiento horizontal Flujo Ascendente	Cerramiento vertical Flujo horizontal	Cerramiento horizontal Flujo descendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabla 9: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$] [9]

En el caso de las particiones interiores, consideraremos que las resistencias térmicas superficiales son siempre tomadas en el interior de la envolvente por lo que a ambos lados de la superficie del cerramiento utilizaremos el valor del R_{Si} de la tabla 9.

En el cálculo de la transmitancia térmica de cada elementos tendremos que tener en cuenta que en el Catalogo de Elementos Constructivos no siempre vendrá dado el valor de la resistencia de cada uno de los elementos que contribuyen a la formación del cerramiento, sino que en muchas ocasiones el valor dado será el de la conductividad y deberemos calcular a partir de dicho valor su resistencia. Por consiguiente, aplicando la Ec.3 que relaciona el espesor del material con la conductividad térmica dada, se puede calcular la resistencia de cada material.

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} [W/m^2K] \quad \text{Ec.3}$$

Siendo:

- e_n Espesor de la capa constructiva n [m]
- λ_n Conductividad térmica de diseño del material que compone la capa constructiva n [W/mK]

En las particiones interiores, además de todo lo anterior, se tiene que tener en cuenta una particularidad a la hora de realizar los cálculos, si algún de los espacios nuevos en los que se va a dividir la estancia es un espacios calefactable o no. Si estuviésemos en el segundo caso, se tiene que considerar un coeficiente de reducción de temperatura al valor de la transmitancia del cerramiento siguiendo la formula Ec.4:

$$U = U_p \cdot b [m^2K/W] \quad \text{Ec.4}$$

Siendo:

- U_p La transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable [m^2K/W]
- b Coeficiente de reducción de temperaturas

El coeficiente b se calcula a través de la tabla 10 donde se obtiene en función del aislamiento térmico, el grado de ventilación del espacio y de la relación de áreas entre la partición interior y la exterior.

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} -Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Tabla 10: Coeficiente de reducción de temperatura b.[9]

Dónde:

- Caso 1** espacio ligeramente ventilado
- Caso 2** espacio muy ventilado
- A_{h-nh} Área partición interior
- A_{nh-e} Área partición exterior

Otras de las excepciones a los cálculos son los cerramientos en contacto con el terreno como son el caso de las soleras. Para este, el CTE nos propone un cómputo mediante tablas sin aplicar las ecuaciones teniendo en cuenta el perímetro de aislante. Este procedimiento, al igual que el visto hasta este momento, se utilizará en los calculas más adelante y veremos la validez en nuestros resultados.

B'	R_s	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R_s [m ² -K/ W]					R_s [m ² -K/ W]					R_s [m ² -K/ W]				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Tabla 11: transmitancia térmica de las soleras [9].

El cálculo de la transmitancia térmica a través de la tabla 11 se realiza partiendo del cálculo de la longitud característica (B'), Ec.5, de la resistencia del aislante (R_a) calculada a partir de la Ec.3 y del ancho de la banda de aislamiento perimetral o distancia entre el cerramiento y el final del aislamiento, D (mostrado en la imagen 1).

$$B' = \frac{A}{0.5 \cdot P} \quad \text{Ec.5}$$

Dónde:

A Área de la solera
P Perímetro de la solera

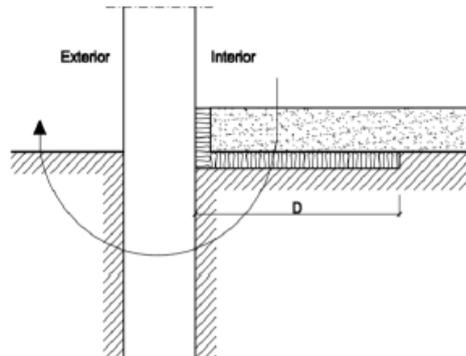


Imagen 1: Solera con aislamiento perimetral [9].

Una vez obtenidos los valores de la transmitancia de los cerramientos, deberemos realizar lo mismo para el caso de los huecos. En este caso aplicaremos la ecuación 6 donde se tiene en cuenta la composición de los huecos y los puntos más desfavorables de pérdidas de calor como son las uniones de los materiales o elementos como las persianas:

$$U_H = \frac{A_{H,v} \cdot U_{H,v} + A_{H,m} \cdot U_{H,m} + l_v \cdot \psi_v + A_{H,p} \cdot U_{H,p} + l_p \cdot \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}} \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec.6}$$

Siendo:

U_H La transmitancia térmica del hueco [W/m^2K]
 $U_{H,v}$ La transmitancia térmica del acristalamiento [W/m^2K]
 $U_{H,m}$ La transmitancia térmica del marco [W/m^2K]
 $U_{H,p}$ La transmitancia térmica del cajón de persiana [W/m^2K]
 ψ_v La transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre el marco y el acristalamiento [W/mK]
 ψ_p La transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre el marco y el cajón de la persiana [W/mK]
 $A_{H,v}$ Área de la parte acristalada [m^2]
 $A_{H,m}$ Área del marco [m^2]
 $A_{H,p}$ Área del cajón de persiana [m^2]
 l_v Longitud de contacto entre el marco y el acristalamiento [m]
 l_p Longitud de contacto entre el marco y el acristalamiento [m]

Con el fin de igualar los resultados que obtenemos aplicando las ecuaciones y poder compáralos con los obtenidos a través de los programas de apoyo, podemos replantear la formula anterior para asemejarla a los realizados mediante la herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) [5] quedando la formula anterior dependiente de la transmitancia de los elementos que componen el hueco y de un porcentaje de perdidas estimado inicialmente bajo los criterios de los fabricantes:

$$U_H = \frac{A_{H,v} \cdot U_{H,v} + A_{H,m} \cdot U_{H,m}}{A_{H,v} + A_{H,m}} \times \left(1 + \frac{\% \text{ perdidas}}{100}\right) \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec.7}$$

Siendo:

% perdidas Perdidas debidas al acoplamiento entre marco y ventana, marco y persiana y cajo de persiana [W/m^2K]

2.1.2. Transmitancia térmica de los cerramientos de la envolvente térmica

A partir de las nociones anteriores comentadas para el procedimiento de cómputo del valor de la transmitancia térmica de los cerramientos, aplicaremos las ecuaciones del 1 al 7 para cada uno de los cerramientos explicados en la memoria apartado 3.3.

2.1.2.1. Cerramientos verticales

2.1.2.1.1. Cerramiento exterior 1 general (CVE1g)

Código elemento	Descripción	e	λ	R	U_k
		m	W/m·K	$m^2 \cdot K/W$	$W/m^2 \cdot K$
	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,040	
	Ladrillo Perforado	0,115	-	0,230	
	Cámara de aire sin ventilar	0,020	-	0,170	
<u>CVE1g</u>	Aislante térmico cerramiento vertical exterior --> XPS con HFC	0,100	0,025	4,000	
	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
	Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
	Espesor total y U_{CVE1g}	0,320		4,936	0,203

Tabla 12: Transmitancia térmica CVE1g.

Una vez que tenemos la transmitancia calculada, necesitamos verificar con el Código Técnico de la Edificación [4] si cumplimos en los requerimientos máximos establecidos. Como se ha visto en la tabla 5, estas limitaciones vienen impuestas a partir del tipo de cerramientos. Así para muros en contacto con el aire exterior tenemos un valor límite de $0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$ (zona climática D2).

$$U_{\text{CVE1g}} = 0.203 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.1.2. Cerramiento exterior 1 con azulejos (CVE1a)

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,040	
	Ladrillo Perforado	0,115	-	0,230	
	Cámara de aire sin ventilar	0,020	-	0,170	
	Aislante térmico XPS con HFC	0,100	0,025	4,000	
<u>CVE1a</u>	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
	Mortero de cemento	0,005	1,000	0,005	
	Azulejo cerámico	0,010	1,300	0,008	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
	Espesor total y U_{CVE1a}	0,320		4,923	0,203

Tabla 13: Transmitancia térmica CVE1a.

Al igual que en el caso anterior, el valor límite de transmitancia térmica es de $0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$U_{\text{CVE1a}} = 0.203 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.1.3. Cerramiento exterior 2 general (CVE2g). Zona de calderas

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
	Revestimiento enfoscado de mortero cemento	0,015	1,000	0,015	
<u>CVE2g</u>	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
	Aislante térmico cerramiento vertical exterior --> XPS con HFC	0,10	0,025	3,200	
	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
	Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026	

Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130
Espesor total y $U_{Me\ 1}$	0,250	4,161	0,202

Tabla 14: Transmitancia térmica CVE2g.

Este cerramiento tiene la particularidad de dividir una zona calefactable con otra que no es por lo que deberemos aplicar la ecuación 4 comentada con anterioridad.

En esta ecuación, y apoyándonos en el anexo Planos, plano nº1, podemos calcular las relaciones de áreas entre superficie de separación y superficie exterior. Con este valor y junto con la configuración de nuestra vivienda donde se plantea que uno de los espacios se considera como un espacio ligeramente ventilado o lo que es lo mismo, caso 1 (denominado así por el Documento de Apoyo DB HE [9]), entramos en la tabla para calcular el valor de la constante b:

$$A_{nh-e}=1.62\ m$$

$$A_{h-nh} = \begin{cases} A_{h,nh1} = 2.92\ m \\ A_{h,nh2} = 1.62\ m \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A_{h,nh}/A_{nh.e} = 1.8\ m \\ A_{h,nh2}/A_{nh.e} = 1\ m \end{cases} \rightarrow \begin{cases} b_1 = 0.89\ m \\ b_2 = 0.94\ m \end{cases}$$

Aplicando la ecuación 4 y comprobando si cumple el CTE para un muro en contacto con espacios no habitables observamos que:

$$U_{CVE1a_1}=0.24 \times 0.89 = 0.18\ W/m^2K < 0.65 \rightarrow CUMPLE\ EL\ CTE.$$

$$U_{CVE1a_2}=0.24 \times 0.94 = 0.19\ W/m^2K < 0.65 \rightarrow CUMPLE\ EL\ CTE.$$

2.1.2.1.4. Cerramiento exterior 2 con azulejos (CVE2a). Zona de calderas

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
	Revestimiento enfoscado de mortero cemento	0,015	1,000	0,015	
	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
<u>CVE2a</u>	Aislante térmico cerramiento vertical exterior --> XPS con HFC	0,080	0,025	3,200	
	Ladrillo Hueco doble GF	0,070	-	0,330	
	Mortero de cemento	0,005	1,000	0,005	
	Azulejo cerámico)	0,010	1,300	0,008	

Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130
Espesor total y U_{Me1}	0,240	4,148	0,202

Tabla 15: Transmitancia térmica CVE2a.

De la misma manera que para el cerramiento anterior, aplicamos el coeficiente de reducción de la temperatura y realizamos la comprobación:

$$b \rightarrow \begin{cases} A_{h,nh1} = 2.92 \text{ m} \\ A_{nh,e} = 1.62 \text{ m} \end{cases} \rightarrow \frac{A_{h,nh}}{A_{nh,e}} = 1.8 \text{ m} \rightarrow b = 0.89$$

$$U_{CVE2a} = 0.241 \times 0.89 = 0.18 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.65 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.2. Cerramientos horizontales

Siguiendo el mismo esquema que hemos utilizado en el documento principal de la memoria, dividiremos los cerramientos horizontales entre los que se encuentran en contacto con el aire exterior y los que están en contacto con el terreno.

2.1.2.2.1. En contacto con el aire exterior

2.1.2.2.1.1. Cerramiento cubierta inclinada (CU)

Código elemento	Descripción	e	λ	R	U_k
		m	W/m·K	m ² ·K/W	W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico ascendente)	-	-	0,040	
	Teja	0,080	1,000	0,080	
	Cámara de aire sin ventilar horizontal	0,050	-	0,160	
	Capa impermeabilizadora. PVC	0,001	0,170	0,007	
CU	Aislante térmico --> Poliestireno expandido	0,120	0,029	4.138	
	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas canto 350 mm	0,350	-	0,350	
	Aislante acústico. Lana mineral	0,010	0,031	0,323	
	Enlucido de yeso	0,020	0,570	0,035	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)	-	-	0,100	
	Espesor total y U_{CU}	0,581	5.233	0,191	

Tabla 16: Transmitancia térmica CU.

Uno de los puntos de menor límite de transmitancia por el enorme intercambio de calor que hay con el exterior es la cubierta y por ese mismo motivo, en la tabla 5 podemos ver que tenemos en este apartado el límite más bajo de todos los cerramientos.

$$U_{CU}=0.22 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.35 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.2.1.2. Cerramiento horizontal en contacto con el aire exterior.
Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera (CHFUEs)

Código elemento	Descripción	e	λ	R	U_k
		m	W/m·K	m ² ·K/W	W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
	Suelo, panel de madera	0,010	0,180	0,056	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,040	0,029	1.724	
CHFUEs	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas canto 350 mm	0,350	-	0,350	
	Aislante acústico. Lana mineral	0,010	0,031	0,323	
	Enlucido yeso aislante	0,015	0,570	0,026	
	Resistencia de la superficie exterior (flujo térmico descendente)	-	-	0,040	
	Espesor total y U_{F1}	0,475		2,739	0,365

Tabla 17: Transmitancia térmica CHFUEs.

Con el valor calculado, procederemos a verificar mediante los valores límites marcados en el CTE si cumple con los requerimientos de este o no:

$$U_{CHFUEs}=0.365 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.2.2. En contacto con el terreno

2.1.2.2.2.1. Cerramiento horizontal con suelo de madera en contacto con el terreno (CHSm)

En este elemento constructivo, como se ha comentado anteriormente, la transmitancia térmica se puede calcular de dos maneras distintas, mediante el cálculo por tablas o mediante fórmulas. En nuestro caso, realizaremos el cálculo por ambos procedimientos y elegiremos como valor final el número más veraz y restrictivo con respecto a la situación que tenemos.

- **Mediante tablas:**

Siguiendo el procedimiento explicado anteriormente, usando de apoyo la tabla 11, donde solo necesitamos conocer los datos del material aislante del cerramiento (en ningún momento habla del resto los materiales utilizados en la composición de dicho elemento) y utilizando las ecuaciones 3 y 5 llegamos al resultado de:

$$B' = \frac{A}{0.5 \cdot P} = \frac{82.56}{0.5 \cdot 14.89 \cdot 8} = 2.09$$

$$R_a = 0.1 / 0.029 = 3.448 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$D > 1.5 \text{ m}$$

$$\rightarrow U_s = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Mediante fórmulas:**

Calcularemos los resultados de la misma manera que se ha calculado hasta ahora el resto de cerramientos.

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
	Suelo, panel de madera	0,010	0,180	0,056	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,100	0,029	3,448	
CHSm	Hormigón armado	0,100	2,300	0,043	
	Lamina impermeabilización (PVC)	0,001	0,170	0,006	
	Capa reguladora. Hormigón de limpieza	0,060	0,740	0,081	
	Encachado de grava	0,100	2,000	0,050	
	Geotextil de poliéster	0,001	0,035	0,029	
	Terreno arcilloso	0,200	1,879	0,106	
	Espesor total y U_{CHSm}	0,622		4,039	0,248

Tabla 18 Transmitancia térmica CHSm.

A la vista de los resultados podemos determinar que el segundo método es más restrictivo ya que no solo tiene en cuenta el tipo de aislante y su geometría, sino que también tiene en cuenta el resto de materiales que intervienen en el cerramiento. Por este motivo, tomamos este segundo valor como el establecido en nuestros cálculos.

Por consiguiente, comparando este valor con los las restricciones del CTE:

$$U_{CHSm} = 0.248 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.2.2. Cerramiento horizontal con suelo de baldosa en contacto con el terreno (CHSb)

A la vista de estos resultados anteriores, los cálculos en este apartado solo los realizaremos mediante fórmulas:

Código elemento	Descripción	e	λ	R	U_k
		m	W/m·K	m ² ·K/W	W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
	Baldosa de cerámica	0,010	1,000	0,010	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,100	0,029	3,448	
CHSb	Hormigón armado	0,100	2,300	0,043	
	Lamina impermeabilización (PVC)	0,001	0,170	0,006	
	Capa reguladora. Hormigón de limpieza	0,060	0,740	0,081	
	Encachado de grava	0,100	2,000	0,050	
	Geotextil de poliéster	0,001	0,035	0,029	
	Terreno arcilloso	0,200	1,879	0,106	
	Espesor total y U_{S1}	0,622		3,994	0,250

Tabla 19 Transmitancia térmica CHSb.

Verificando el cumplimiento de este cerramiento:

$$U_{CHSb} = 0.250 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.2.3. Cerramiento horizontal con acabado en mortero de hormigón en contacto con el terreno (CHS)

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U _k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,100	0,029	3,448	
CHS	Hormigón armado	0,100	2,300	0,043	
	Lamina impermeabilización (PVC)	0,001	0,170	0,006	
	Capa reguladora. Hormigón de limpieza	0,060	0,740	0,081	
	Encachado de grava	0,100	2,000	0,050	
	Geotextil de poliéster	0,001	0,035	0,029	
	Terreno arcilloso	0,200	1,879	0,106	
Espesor total y U_{S1}		0,612		3,984	0,251

Tabla 20 Transmitancia térmica CHS.

Comprobando el cumplimiento del CTE:

$$U_{CHS} = 0.251 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.41 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.3. Particiones interiores

2.1.2.3.1. Verticales

2.1.2.3.1.1. Partición interior general (PIg)

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U _k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
	Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026	
PIg	Ladrillo Hueco doble GF	0,090	-	0,330	
	Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
Espesor total y U_{PIg}		0,120		0,643	1,556

Tabla 21: Transmitancia térmica PIg.

En la situación de las particiones interiores, a no ser que estén en contacto con estancias no habitables, no se establece ninguna restricción en el CTE por lo que este cerramiento cumple con las especificaciones.

2.1.2.3.1.2. Partición interior con azulejos

Y de la misma manera ocurre para la partición interior con azulejos ya que no tenemos ninguna superficie en contacto con estancias no habitables.

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
<u>Pla</u>	Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026	
	Ladrillo Hueco doble GF	0,090	-	0,330	
	Mortero de cemento	0,005	1,000	0,005	
	Azulejo cerámico	0,010	1,300	0,008	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico horizontal)	-	-	0,130	
Espesor total y U_{Pla}		0,120		0,629	1,590

Tabla 22: Transmitancia térmica Pla.

2.1.2.3.2. Horizontales

2.1.2.3.2.1. Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera (CHFUs)

Código elemento	Descripción	e m	λ W/m·K	R m ² ·K/W	U_k W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
<u>CHFUs</u>	Suelo, panel de madera	0,010	0,180	0,056	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,040	0,029	1,379	
	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas	0,350	-	0,350	
	Aislante acústico. Lana mineral	0,010	0,031	0,323	
	Enlucido yeso aislante	0,015	0,570	0,026	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)	-	-	0,100	
Espesor total y U_{CHFUs}		0,485		2,454	0,408

Tabla 23: Transmitancia térmica CHFUs.

Al igual que en casos anteriores, el CTE no especifica limitaciones para particiones interiores contenidas en la envolvente térmica, por lo que consideraremos que cumple con las especificaciones.

2.1.2.3.2.2. *Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de baldosa (CHFUb)*

Código elemento	Descripción	e	λ	R	U_k
		m	W/m·K	m ² ·K/W	W/m ² ·K
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico descendente)	-	-	0,170	
	Baldosa de cerámica	0,010	1,000	0,010	
	Mortero de cemento	0,050	1,000	0,050	
	Aislante de ruido. Poliestireno expandido EPS	0,040	0,029	1,379	
<u>CHFUb</u>	Forjado con Piezas de entrevigado cerámicas	0,350	-	0,350	
	Aislante acústico. Lana mineral	0,010	0,031	0,323	
	Enlucido yeso aislante	0,015	0,570	0,026	
	Resistencia de la superficie interior (flujo térmico ascendente)	-	-	0,100	
	Espesor total y U_{CHFUb}	0,475		2,408	0,415

Tabla 24: Transmitancia térmica CHFUb.

2.1.2.4. **Huecos**

Para el cálculo de los huecos, aplicaremos la ecuación 7 de este apartado y que junto a los datos de la memoria del apartado 4.2, calcularemos las transmitancias térmicas de las ventanas o lucernarios y las puertas.

2.1.2.4.1. Verticales

2.1.2.4.1.1. Puertas

	Superficie puerta	Superficie parte semitransparente	Superficie del marco	U _g	U _m	U _H
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	W/m ² ·K	W/m ² ·K	W/m ² ·K
PEP	1,87	0,00	1,87	1,40	2,00	2,00
PET	1,87	1,50	0,37	1,40	1,80	1,77
Pbal	3,15	2,52	0,63	1,40	1,80	1,63
Pint	1,51	0,00	1,51	1,40	2,00	2,00
PCC	1,87	0,00	2,04	1,40	2,00	2,00

Tabla 25: Transmitancia térmica puertas

Igual que en todos los casos, para las puertas también existe una especificación que nos limita la transmitancia térmica. Para el caso de las puertas el valor es de 5.7 W/m²K según se muestra en la tabla 5.

Por consiguiente:

$$U_p < 5.7 \rightarrow \text{CUMPLE EL CTE.}$$

2.1.2.4.1.2. Ventanas

	Superficie ventana	Superficie parte cristal	Superficie del marco	U _g	U _m	U _H
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	W/m ² ·K	W/m ² ·K	W/m ² ·K
Vcoc	2,60	2,08	0,52	1,40	1,80	1,63
Vhab1_1	2,86	2,29	0,57	1,40	1,80	1,63
Vhab1_2	2,86	2,29	0,57	1,40	1,80	1,63
VSa1_1	2,86	2,29	0,57	1,40	1,80	1,63
VSa1_2	5,03	4,02	1,01	1,40	1,80	1,63
Vhab2	2,86	2,29	0,57	1,40	1,80	1,63
Vbañ2	0,45	0,36	0,09	1,40	1,80	1,63
Vhab4	2,86	2,29	0,57	1,40	1,80	1,63
Vbañ3	1,95	1,56	0,39	1,40	1,80	1,63

Tabla 26: Transmitancia térmica ventanas

Verificando la normativa CTE vemos que para las ventanas la transmitancia limite es 1.8 W/m²K. Con este valor comprobamos que en todos los huecos cumplimos con el CTE.

2.1.2.4.2. Horizontales

	Superficie ventana	Superficie parte cristal	Superficie del marco	U _g	U _m	U _H
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	W/m ² ·K	W/m ² ·K	W/m ² ·K
Vati	2,00	1.60	0,40	2.10	1,90	2.40

Tabla 27: Transmitancia térmica lucernarios

Comprobando el cumplimiento de la normativa CTE vemos que para las ventanas y lucernarios la transmitancia límite es 1.8 W/m²K. Con este valor comprobamos que no cumplimos con el CTE para el caso de estos huecos. Sin embargo, se ha tomado la decisión de mantener dichas ventanas si la transmitancia global del edificio cumple con los requerimientos.

2.1.3. Pérdidas de carga

Una vez calculada la transmitancia térmica de la vivienda deberemos añadirle el cómputo del resto de pérdidas que se dan en una construcción. Estas son las pérdidas de calor son debido a la ventilación, a la transmisión de calor a través de los cerramientos y a los puentes térmicos como consecuencia de la interrupción de los materiales. Así, todas estas pérdidas junto con la transmitancia térmica nos da el valor de las necesidades térmicas en el caso más desfavorable útiles para poder diseñar la calefacción en los siguientes apartados.

2.1.3.1. Pérdidas por ventilación

Estas pérdidas son las debidas al calor que perdemos debido a la ventilación de la vivienda ya sea esta de naturaleza natural o forzada.

Para su cálculo deberemos separar en primer lugar las estancias entre locales húmedos (salida de aire) y secos (entrada de aire) y ver en el CTE DB HS-3 [10] el caudal mínimo necesario de ventilación que tendrá cada estancia. Una vez que tengamos esos valores, necesitamos igualar el caudal de entrada con el de salida para después igualar de manera proporcional en cada estancia, pero con una particularidad, en los locales húmedos, el CTE nos aplica un valor mínimo de renovaciones (40 l/s) que aunque no se alcance dicho valor mínimo, se tiene que igualar de todas las maneras.

Así por lo tanto, en la tabla inferior se puede comprobar el ajuste y el valor mínimo de aire que necesitamos para ventilar nuestras estancias. El caudal resultante es de 40 l/s, lo que es lo mismo de 0.18 renovaciones/h (caudal/volumen).

<i>Entrada de aire (locales secos)</i>							Total (l/s)
<i>Salón</i>	<i>Habitación 1</i>	<i>Habitación 2</i>	<i>Habitación 3</i>	<i>Habitación 4</i>	<i>Ático</i>		
<i>Caudal mínimo (l/s)</i>	10	4	4	4	8	10	40
<i>Ventilación total equilibrada</i>	10	4	4	4	8	40	40

Salida de aire (locales húmedos)					
	Cocina	Baño 1	Baño 2	Baño 3	Total (l/s)
Caudal mínimo (l/s)	8	8	8	8	32
Ventilación total equilibrada	10	10	10	10	40

Tabla 28: Caudales mínimos a satisfacer en la vivienda. Arriba, estancias secas. Abajo, estancias húmedas.

Para el caso de la cocina, el CTE nos impone un extra de ventilación en la zona de cocción para eliminar los contaminantes que se producen en el proceso de cocinado. Esta ventilación ha de ser forzada mediante sistemas de extracción, de mínimo 50 l/s (utilizándose durante 1.5 h diarias).

Una vez obtenidas las renovaciones que tendrán que realizarse en la vivienda se puede proceder al cálculo de las pérdidas por ventilación a través de la ecuación 8 referenciándose a la normativa UNE-EN 12831-1:2019 [11]:

$$Q_v = 0.3489 \times \dot{V}_{min} \times (T_i - T_e) \quad \text{Ec.8}$$

Siendo:

V_{min}	Caudal mínimo de ventilación en m ³ /h
T_i	Temperatura interior de diseño del local, tabla 4 [°C]
T_e	Temperatura exterior de cálculo [°C]

Realizando el cálculo a partir de la ecuación anterior las pérdidas que tenemos son:

$$Q_v = 2833 \text{ W}$$

2.1.3.2. Pérdidas por transmisión de calor

A la hora de calcular las pérdidas debidas a la transmisión de calor aplicaremos la siguiente ecuación 9 a cada una de las estancias que intervienen en la envolvente térmica:

$$Q_v = U_k \times A_k \times C_1 \times C_2 \times (T_i - T_e) \quad \text{Ec.9}$$

Dónde:

U_k	Transmitancia total del cerramiento k [W/m ² ·K]
A_k	Área del cerramiento [m ²]
C_1	Coficiente de intermitencia
C_2	Coficiente de orientación
T_i	Temperatura interior de diseño del local, tabla 4 [°C]
T_e	Temperatura exterior de cálculo [°C]

Considerando el coeficiente de intermitencia (C_1) como un incremento en la necesidad de carga térmica debido a las paradas o interrupciones del sistema de calefacción, se suele tomar el aumento de un 10% sobre la energía inicial.

Por este motivo tomaremos C_1 como 1.1, valores establecidos en el RITE [5] y la UNE-EN ISO 13789 [12].

Del mismo modo, el coeficiente por orientación C_2 es un incremento que se le aplica a la carga térmica que varía en función de la orientación del edificio tomándose como valores establecidos los de la tabla 29:

Orientación	Coeficiente de orientación
N	1.2 (+20%)
S	1 (+0%)
E	1.15 (+15%)
O	1.1 (+10%)

Tabla 29: coeficiente de orientación [5], [12].

Como en nuestro caso, nuestra vivienda se encuentra en una orientación intermedia de los puntos cardinales, tomaremos los siguientes valores de coeficiente (valor medio de la orientación que interviene): NO +15%, NE +18%, SO +5% y SE +8%. En el interior de la vivienda será 1.

En el caso de tener espacios no calefactables, la temperatura de dicho espacio se establecerá entre un 50% de la relación entre la temperatura interior y exterior, quedando la temperatura de dicho espacio de $0.5 \times (T_{int} - T_e)$.

Aplicando las fórmulas a los distintos espacios:

- **Cocina**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k m ²	U_k W/m ² ·K	C_1	C_2	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	Q_t W
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire general	NE	15,59	0,203	1,1	1,18	28,20	115.86
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire general	SE	6,31	0,203	1,1	1,08	28,20	42.88
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	21,09	1,590	1,1	1,00	1,00	36,88
Vcoc	Ventana cocina	NE	2,60	1,628	1,1	1,18	28,20	154.94
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,000	1,1	1,00	1,00	3,33
CHSb	Cerramiento horizontal (solera) con suelo de madera en contacto con el terreno	Espacio no calefactado	15,61	0,250	1,1	1,00	14,10	60,63
CHFUs	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	15,61	0,408	1,1	1,00	1,00	7,00
Perdida transmisión de calor [W]=								421.52

Tabla 30: Perdidas transmisión calor cocina

- **Habitación 1**

Código	Elemento del edificio	Orientación	$\frac{A_k}{m^2}$	$\frac{U_k}{W/m^2 \cdot K}$	C₁	C₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NE	7,68	0,203	1,1	1,18	28,20	57.06
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SE	7,54	0,203	1,1	1,08	28,20	51.24
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	9,35	0,203	1,1	1,15	28,20	67.67
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	8,09	1,556	1,1	1,00	1,00	13,85
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	4,22	1,590	1,1	1,00	1,00	7,38
Vhab1_1	Ventana habitación 1_1	NE	2,86	1,628	1,1	1,18	28,20	170.43
Vhab1_2	Ventana habitación 1_2	NO	2,86	1,628	1,1	1,15	28,20	166.10
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,000	1,1	1,00	1,00	3,33
CHSm	Cerramiento horizontal con madera en contacto con el terreno	Espacio NO calefactado	15,03	0,248	1,1	1,00	14,10	57,71
CHFU	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con madera	Espacio calefactado	15,03	0,408	1,1	1,00	1,00	6,74
Perdida transmisión de calor [W]= 594.77								

Tabla 31: Perdidas transmisión calor Habitación 1

- **Baño 1**

Código	Elemento del edificio	Orientación	$\frac{A_k}{m^2}$	$\frac{U_k}{W/m^2 \cdot K}$	C₁	C₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	4,58	0,20	1,1	1,15	28,20	33.29
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	10,96	1,59	1,1	1,00	1,00	19,16
CVE2a	Cerramiento vertical exterior 2 (zona caldera, estancia no calefactable)	Espacio NO calefactado	7,94	0,19	1,1	1,00	14,10	24.9
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,00	1,1	1,00	1,00	3,33
CHSm	Cerramiento horizontal (solera) con suelo de madera en contacto con el terreno	Espacio NO calefactado	2,85	0,25	1,1	1,00	14,10	10,94
CHFU	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	2,85	0,41	1,1	1,00	1,00	1,28
Perdida transmisión de calor [W]= 92.89								

Tabla 32: Perdidas transmisión calor Baño 1

- **Salón**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k m ²	U_k W/m ² ·K	C ₁	C ₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SE	17,17	0,20	1,1	1,08	28,20	116,77
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SO	14,91	0,20	1,1	1,05	28,20	98,60
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	19,74	0,20	1,1	1,15	28,20	142,94
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	8,58	1,59	1,1	1,00	1,00	15,01
CVE2g	Muro exterior en contacto con el aire general	Espacio NO calefactado	5,93	0,19	1,1	1,00	14,10	18,53
PET	Puerta entrada trasera	Espacio calefactado	1,87	1,63	1,1	1,00	1,00	3,35
VSa1_1	Ventana salon_1	SE	2,86	1,63	1,1	1,08	28,20	155,99
VSa1_2	Ventana salon_2	SO	5,03	1,63	1,1	1,05	28,20	266,77
CHSm	Cerramiento horizontal con madera en contacto con el terreno	Espacio NO calefactado	44,90	0,25	1,1	1,00	14,10	172,41
CHFU	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	39,32	0,41	1,1	1,00	1,00	17,63
CHFUb	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de baldosa	Espacio calefactado	5,58	0,42	1,1	1,00	1,00	2,55
Perdida transmisión de calor [W] = 1015.72								

Tabla 33: Perdidas transmisión calor salón

- **Habitación 2**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k m ²	U_k W/m ² ·K	C ₁	C ₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	6,39	0,20	1,1	1,15	28,20	46,20
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NE	5,83	0,20	1,1	1,18	28,20	43,29
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SE	13,37	0,20	1,1	1,08	28,20	90,75
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	15,62	1,56	1,1	1,00	1,00	26,73
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,00	1,1	1,00	1,00	3,33
Vhab2	Ventana habitación 2	NE	2,86	1,63	1,1	1,05	28,20	170,43
CHFU	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con madera	Espacio calefactado	39,62	0,41	1,1	1,00	1,00	17,76
Perdida transmisión de calor [W] = 398.76								

Tabla 34 Perdidas transmisión calor habitación 2.

- **Hall principal**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k	U_k	C_1	C_2	ΔT	Q_t
			m^2	$W/m^2 \cdot K$			$T_i - T_e$	W
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NE	1,64	0,203	1,1	1,18	28,20	12,15
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	12,91	1,590	1,1	1,00	1,00	22,58
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	6,90	1,556	1,1	1,00	1,00	11,82
CVE2g	Cerramiento vertical exterior 2 (zona caldera)	Espacio NO calefactado	5,17	0,240	1,1	1,00	14,10	19,26
PEP	Puerta entrada principal	Espacio calefactado	1,87	2,000	1,1	1,00	1,00	4,11
Pint	Puertas interiores x3	Espacio calefactado	4,54	2,000	1,1	1,00	1,00	9,98
Psal	Puerta Salón	Espacio calefactado	3,15	1,495	1,1	1,00	1,00	5,18
CHFU	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	8,15	0,408	1,1	1,00	1,00	3,65
CHSm	Cerramiento horizontal (solera) con suelo de madera en contacto con el terreno	Espacio NO calefactado	8,15	0,248	1,1	1,00	14,10	31,29
Perdida transmisión de calor [W] = 120.03								

Tabla 35: Perdidas transmisión calor hall principal

- **Habitación 3**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k	U_k	C_1	C_2	ΔT	Q_t
			m^2	$W/m^2 \cdot K$			$T_i - T_e$	W
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	12,81	0,20	1,1	1,18	28,20	95,18
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SO	5,59	0,20	1,1	1,08	28,20	37,98
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	7,78	1,59	1,1	1,00	1,00	13,61
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	12,15	1,56	1,1	1,00	1,00	20,80
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,00	1,1	1,00	1,00	3,33
Pbal	Puerta balcón	SO	3,15	1,63	1,1	1,18	28,20	187,71
CHFU	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera X2	Espacio calefactado	34,92	0,41	1,1	1,00	1,00	15,65
Perdida transmisión de calor [W] = 374.27								

Tabla 36 Perdidas transmisión calor habitación 3.

- **Baño 2**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k	U_k	C_1	C_2	ΔT	Q_t
			m^2	$W/m^2 \cdot K$			$T_i - T_e$	W
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire con azulejos	SE	4,21	0,20	1,1	1,08	28,20	28.71
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	20,23	1,59	1,1	1,00	1,00	35,37
Pint	Puertas interiores	Espacio calefactado	1,51	2,00	1,1	1,00	1,00	3,33
Vbañ2	Ventana Baño 2	SE	0,45	1,63	1,1	1,08	28,20	24.54
CHFU	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	39,62	0,41	1,1	1,00	1,00	17,76
CHFUb	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de baldosa	Espacio calefactado	39,62	0,42	1,1	1,00	1,00	18,10
Perdida transmisión de calor [W] = 127.81								

Tabla 37 Perdidas transmisión calor Baño 2.

- **Habitación 4**

Código	Elemento del edificio	Orientación	A_k	U_k	C_1	C_2	ΔT	Q_t
			m^2	$W/m^2 \cdot K$			$T_i - T_e$	W
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire con azulejos	SE	11,83	0,20	1,1	1,08	28,20	80.48
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire con azulejos	SO	7,61	0,20	1,1	1,05	28,20	50.30
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	14,23	1,59	1,1	1,00	1,00	24,88
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	4,83	1,56	1,1	1,00	1,00	8,27
Pint	Puertas interiores x2	Espacio calefactado	3,02	2,00	1,1	1,00	1,00	6,65
Vhab4	Ventana Habitación 4	SO	2,86	1,63	1,1	1.05	28,20	151.65
CHFU	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera x2	Espacio calefactado	42,14	0,41	1,1	1,00	1,00	18,89
Perdida transmisión de calor [W] = 151.65								

Tabla 38 Perdidas transmisión calor Habitación 4.

- **Baño 3**

Código	Elemento del edificio	Orientación	$\frac{A_k}{m^2}$	$\frac{U_k}{W/m^2 \cdot K}$	C₁	C₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire con azulejos	SO	2,93	0,20	1,1	1,05	28,20	19.43
CVE1a	Muro exterior en contacto con el aire	NO	7.44	0.20	1.1	1.15	28.20	54.04
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	20,55	2,00	1,1	1,00	1,00	45,20
Pint	Puertas interiores x2	Espacio calefactado	1,51	2,00	1,1	1,00	1,00	3,33
Vban3	Ventana baño 3	SO	1,95	1,58	1,1	1,05	28,20	103.40
CHFU	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de madera	Espacio calefactado	6,58	0,41	1,1	1,00	1,00	2,95
CHFUb	Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas con suelo de baldosa	Espacio calefactado	6,58	0,42	1,1	1,00	1,00	3,01
Perdida transmisión de calor [W]=								231.35

Tabla 39 Perdidas transmisión calor baño 3.

- **Ático**

Código	Elemento del edificio	Orientación	$\frac{A_k}{m^2}$	$\frac{U_k}{W/m^2 \cdot K}$	C₁	C₂	$\frac{\Delta T}{T_i - T_e}$	$\frac{Q_t}{W}$
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NE	5,57	0,203	1,1	1,18	28,20	41,27
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SE	10,42	0,203	1,1	1,08	28,20	70,74
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	SO	5,57	0,203	1,1	1,05	28,20	36,72
CVE1g	Muro exterior en contacto con el aire general	NO	10,42	0,203	1,1	1,15	28,20	75,32
Plg	Partición interior general	Espacio calefactado	3,81	1,556	1,1	1,00	1,00	6,52
Pla	Partición interior con azulejos	Espacio calefactado	4,88	1,590	1,1	1,00	1,00	8,53
Pint	Puertas interiores x2	Espacio calefactado	1,51	2,000	1,1	1,00	1,00	3,33
Vati	Ventanas ático x2	SE	4,00	2,266	1,1	1,08	28,20	303,66
Vati	Ventanas ático x2	NO	4,00	2,266	1,1	1,15	28,20	323,34
CHFUEs	Cerramiento horizontal en contacto con el exterior.	Espacio calefactado	7.06	0,365	1,1	1,00	28.20	79.97
CHFUs	Cerramiento horizontal Forjado unidireccional	Espacio calefactado	85.39	0,408	1,1	1,00	1,00	38.28
CU	Cubierta inclinada	NE	23,41	0,191	1,1	1,18	28,20	163.76
CU	Cubierta inclinada	SE	58,73	0,191	1,1	1,08	28,20	376.01
CU	Cubierta inclinada	SO	23,41	0,191	1,1	1,05	28,20	145.72
CU	Cubierta inclinada	NO	58,73	0,191	1,1	1,15	28,20	400.38
Perdida transmisión de calo [W] =								1151.88

Tabla 40 Perdidas transmisión calor ático.

El resultado final de todas las pérdidas por transmisión de calor es:

$$Q_v = 4867.02 W$$

2.1.3.3. Puentes térmicos

Y por último, para terminar con las pérdidas a través de los cerramientos, tendremos que tener en cuenta los puentes térmicos de la envolvente térmica debida a una uniformidad de la construcción, ya sea debido a un cambio de los materiales, de espesores, etc.

El cálculo de estos se puede explicar de manera simplificada la ecuación 10 como se muestra a continuación:

$$\phi_T = \left(\sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_j \cdot L_j + \sum \chi_k \right) (T_i - T_e) = U_m A_T (T_i - T_e) \quad \text{Ec.10}$$

[W]

Dónde:

U_i	Transmitancia térmica del elemento i de la envolvente [W/m ² K]
A_i	Área del elemento i
ψ_j	Transmitancia térmica lineal del encuentro j del edificio [W/mk]
L_j	Longitud del encuentro j
χ_k	Transmitancia térmica del puente térmico puntual
U_m	Transmitancia térmica media de la envolvente [W/m ² K]
A_T	Superficie total de transmisión

Para nuestros cálculos, consideraremos despreciables los puentes térmicos puntuales. En el caso de los puentes térmicos lineales consideraremos los siguientes valores de pérdidas apoyándonos del Documento de Apoyo del Código Técnico de la Edificación para el Ahorro de Energía [9] documento 3 (DA DB HE-3):

- **Pilares integrados en fachadas**

En nuestra vivienda, hemos optado por la opción de realizar el aislamiento de los pilares con continuación del aislamiento de fachada por el interior como se puede ver en el detalle constructivo Anexo planos en el plano nº11

		Ψ_e, Ψ_i [W/mK]	
		Dimensiones pilar [cm x cm]	
		20x20 / 30x30	
U_{muro} [W/m ² K]		0,73	0,02
		0,44	0,01
		0,31	0,00
		0,27	0,00
		0,24	0,00

Tabla 41 Transmitancia térmica pilares [9].

Según el cuadro recogido en el Documento de Apoyo, en nuestro caso teniendo un valor de U_{CVE1} de 0.203 W/m²K, la transmitancia lineal de nuestro elemento es 0, véase tabla 41. Por lo tanto, se considera que no existen zonas con riesgo de formación de condensaciones o pérdidas de energía en las zonas cercanas a los pilares.

- **Jambas**

En los huecos, la zona más peligro ante las filtraciones o condensaciones son las uniones entre los cerramientos y las uniones de las carpinterías, por ese motivo intentaremos aislarlo de la manera más eficaz posible con el fin de eliminar todas esas pérdidas.

		Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,31	0,12	0,08	0,05	0,04	0,38	0,17	0,12	0,07	0,05
	0,44	0,34	0,11	0,06	0,02	0,01	0,42	0,16	0,10	0,05	0,03
	0,31	0,14	0,05	0,03	0,01	0,01	0,22	0,11	0,07	0,04	0,03
	0,27	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03
	0,24	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03

Tabla 42 Transmitancia térmica jambas [9].

En nuestro caso, diseñaremos las jambas con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería por el interior. Según la tabla 42 y a partir de los datos de nuestra vivienda ($U_{CVE1}=0.203$ W/m²K y $U_{marco}=1.8$ W/m²K), la transmitancia es:

$$\Psi_i=0.01 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para la transmitancia de los elementos, utilizaremos siempre el valor de ψ_i debido a que las longitudes tomadas en la herramienta HULC son por el interior.

En cuanto a las condensaciones superficiales hay que tener en cuenta con este tipo de elementos es propenso a tener zonas con condensación superficial.

- **Dinteles**

Al igual que para las jambas tendremos que tener la transmitancia térmica que nos generan los dinteles en los huecos.

	Ψ_e [W/mK]						Ψ_i [W/mK]					
	U_{marco} [W/m ² K]						U_{marco} [W/m ² K]					
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	
U_{hueco} [W/m ² K]	0,73	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13	
	0,44	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12	
	0,31	0,16	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,07	0,08	0,09	0,10	
	0,27	0,14	0,06	0,06	0,08	0,09	0,14	0,06	0,06	0,08	0,09	
	0,24	0,14	0,05	0,06	0,08	0,09	0,14	0,05	0,06	0,08	0,09	

Tabla 43 Transmitancia térmica dinteles [9].

En este caso, y a través de la tabla 43 podemos calcular el valor de la transmitancia de los dinteles. En nuestra construcción, se ha determinado realizarlo con continuidad entre el aislamiento de la fachada y la carpintería.

$$\Psi_i=0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$$

De la misma manera que en el caso anterior, esta disponibilidad de los elementos genera ciertos puntos propensos a generar condensaciones.

- **Alfeizar**

Otro puente térmico que se genera a partir de los huecos son los provenientes de los alfeizares. En este caso utilizaremos la tabla 44 teniendo en cuenta que el diseño se ha realizado partiendo de la continuidad entre la fachada y la carpintería.

	Ψ_e [W/mK]						Ψ_i [W/mK]					
	U_{marco} [W/m ² K]						U_{marco} [W/m ² K]					
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	
U_{hueco} [W/m ² K]	0,73	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09	
	0,44	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09	
	0,31	0,19	0,11	0,09	0,08	0,08	0,19	0,11	0,09	0,08	0,08	
	0,27	0,18	0,10	0,09	0,08	0,08	0,18	0,10	0,09	0,08	0,08	
	0,24	0,17	0,10	0,08	0,08	0,08	0,17	0,10	0,08	0,08	0,08	

Tabla 44 Transmitancia térmica alfeizar [9].

Usando los mismos datos de los cerramientos que para los casos anteriores:

$$\Psi_i=0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Capialzados**

Para finalizar con los puentes térmicos debidos a los huecos tenemos que tener en cuenta las perdidas debidas a los capialzados. En la tabla 45 se puede calcular la transmitancia térmica para este caso.

	U_{marco} [W/m ² K]	ψ_e, ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,08	0,05	0,03	0,00	-0,01
	0,44	0,11	0,08	0,06	0,03	0,02
	0,31	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04
	0,27	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04
	0,24	0,13	0,09	0,08	0,05	0,03

Tabla 45 Transmitancia térmica de los capitalizados [9].

Según nuestro cerramiento teniendo en cuenta que todos los capitalizados de nuestra construcción son de PVC con aislamiento interno:

$$\psi_i = 0.03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Frentes de forjados**

El diseño de nuestra vivienda en el encuentro entre los forjados y los cerramientos verticales exteriores se realizan de manera que se asegure la continuidad del aislamiento de la fachada como se puede observar en el detalle constructivo del anexo planos, plano nº11. Con este tipo de cerramiento, conseguimos que las pérdidas por el encuentro sean lo mínimas posibles. Partiendo de la tabla inferior 46, podemos realizar el cálculo de la transmitancia térmica correspondiente:

	U_{muro} [W/m ² K]	ψ_e [W/mK]			ψ_i [W/mK]		
		Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
		25	30	35	25	30	35
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,02	0,02	0,02	0,25	0,29	0,33
	0,44	0,01	0,01	0,01	0,15	0,17	0,19
	0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,13
	0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10	0,12
	0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	0,10

Tabla 46 Transmitancia térmica del encuentro entre los forjados y los cerramientos verticales [9].

Según la tabla 46, el valor de la transmitancia lo calcularemos teniendo en cuenta que el valor del cerramiento vertical $U_{\text{CVE}1g}$ es 0.203 W/m²K y el espesor del forjado es de 35 cm:

$$\psi_i = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En cuanto a las condensaciones superficiales, este tipo de cerramientos generan riesgo de aparición en las zonas de encuentro entre el forjado y el muro.

- **Cubiertas planas**

Aunque nuestra cubierta de la vivienda es una cubierta inclinada, en el CTE DB HE-3 [4] solo nos habla de las cubiertas planas, utilizaremos estos mismos datos que se nos muestran teniendo en cuenta que existe una continuidad entre el aislante de la fachada y el de la cubierta.

	Ψ_e [W/mK]						Ψ_i [W/mK]				
	$U_{cubierta}$ [W/m ² K]						$U_{cubierta}$ [W/m ² K]				
	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28	0,28	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,37	0,37	0,35	0,35	0,35
	0,44	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,32	0,3	0,28	0,28	0,28
	0,31	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,25	0,25	0,25
	0,27	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,24	0,24	0,24
	0,24	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,28	0,26	0,24	0,24	0,24

Tabla 47 Transmitancia térmica del encuentro entre la cubierta y los cerramientos verticales [12].

Por consiguiente entrando en la tabla 47 con los datos de nuestra construcción, $U_{CVE1}=0.203$ W/m² y $U_{CU}=0.191$ W/m²:

$$\Psi_i=0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Se ha observado que para la zona climática D2 (zona de construcción) existe riesgo de condensación superficial en el encuentro entre la cubierta y el muro.

- **Esquinas**

Este puente térmico se genera debido a razones geométricas, no debido al cambio de materiales o espesores, porque en nuestro caso, en el encuentro entre los muros en las esquinas, los materiales siempre serán los mismos. Aun así, tendremos que diferenciar entre dos tipos distintos de esquinas, las salientes o exteriores y las entrantes o interiores. Ambas tablas de transmitancia térmica de dichos elementos se recogen en la tabla 48.

	Ψ_e		Ψ_i			Ψ_e		Ψ_i	
	[W/mK]		[W/mK]			[W/mK]		[W/mK]	
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	-0,24	0,11		U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,18	-0,16	
	0,44	-0,15	0,08			0,44	0,12	-0,11	
	0,31	-0,11	0,06			0,31	0,09	-0,08	
	0,27	-0,10	0,06			0,27	0,08	-0,08	
	0,24	-0,10	0,05			0,24	0,08	-0,07	

Tabla 48 Transmitancia térmica del encuentro entre las esquinas. Izq: esquinas salientes. Dcha.: esquinas entrantes. [9].

Por consiguiente en este caso, los valores que tenemos son:

$$\Psi_i=0.05 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow \text{Esquina saliente}$$

$$\Psi_i=-0.07 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow \text{esquina entrante}$$

- **Forjados inferiores**

En el caso del balcón, vemos que tenemos un forjado en suspensión con superficies en contacto con el aire exterior que genera cierta pérdida de energía a través de él. Aun así y para aislarlo lo máximo posible, el diseño de dicho forjado está realizado con aislamiento continuo entre fachada y forjado.

	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]					
	U_{suelo} [W/m ² K]					U_{suelo} [W/m ² K]					
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	-0,17	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18	0,26	0,52	0,24	0,23	0,22
	0,44	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	0,26	0,26	0,24	0,23	0,22
	0,31	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	0,27	0,27	0,24	0,23	0,22
	0,27	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,27	0,27	0,24	0,23	0,22
	0,24	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,27	0,27	0,25	0,23	0,22

Tabla 49 Transmitancia térmica en forjados inferiores. [9].

Teniendo en cuenta la transmitancia de nuestros cerramientos para entrar en la tabla, la transmitancia que se obtiene a partir de la tabla 49 es:

$$\Psi_i=0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Suelos en contacto con el terreno**

En el caso de las pérdidas entre el suelo y los cerramientos verticales les hemos minimizado generando una continuidad entre el aislamiento de ambos cerramientos. A partir de la tabla 50 podemos realizar el cálculo de las pérdidas teniendo en cuenta que la transmitancia de la solera es U_{CHS} es 0.251 W/m²K y la del cerramiento es la misma que hemos utilizado en los casos anteriores.

	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]					
	U_{solera} [W/m ² K]					U_{solera} [W/m ² K]					
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,06	0,31	0,30	0,23	0,19	0,15
	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,38	0,37	0,30	0,26	0,22
	0,31	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,42	0,41	0,33	0,29	0,25
	0,27	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,43	0,42	0,35	0,30	0,26
	0,24	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,44	0,43	0,35	0,31	0,27

Tabla 50 Transmitancia térmica de suelos en contacto con el terreno [9].

A causa de todo esto:

$$\Psi_i=0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Una vez que tenemos todos estos valores, aplicamos la ecuación 10 y el resultado de pérdidas debido a puentes térmicos es:

$$\phi_T = 876.43 \text{ W}$$

2.1.3.4. Transmitancia térmica global

Una vez obtenidas todas las pérdidas que componen la envolvente térmica, podemos calcular la transmitancia global y verificar si cumple con los requerimientos de la normativa CTE DB-HE 2020 mostrados en la tabla 6.

Para calcular dicho valor, aplicamos la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\sum_X b_{tr,x} [\sum_i A_{X,i} \cdot U_{x,i} + \sum_k l_{X,k} \cdot \psi_{x,k}]}{\sum_X \sum_i b_{tr,x} \cdot A_{x,i}} \quad \text{Ec.11}$$

Siendo:

$b_{tr,x}$	Factor de ajuste para los elementos de la envolvente. En el caso de edificios sin contacto con otras viviendas es 1, en el caso contrario es 0
$A_{x,i}$	Área del elemento i de la envolvente térmica
$U_{x,i}$	Transmitancia térmica del elemento i
$l_{x,k}$	Longitud del puente térmico considerado del elemento k
Ψ_{xk}	Transmitancia térmica lineal del elemento k

Aplicando dicha fórmula y realizando los cálculos a través de HULC podemos verificar si nuestro edificio cumple con las especificaciones. Por consiguiente, en la imagen 2 podemos ver que el K de la envolvente es 0.5 cumpliendo con la normativa.

	Valores calculados	Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	0,50	0,50	CUMPLE

Imagen 2: Resultados transmitancia térmica global en HULC.

2.2. Control solar de la envolvente térmica

Consideramos el control solar de la envolvente térmica como la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($Q_{sol:jul}$) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas, y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A_H). Puede aplicarse al edificio o a parte del mismo. Toda esta explicación viene recogida en la ecuación 12.

$$q_{sol:jul} = \frac{Q_{sol:jul}}{A_H} = \frac{(\sum F_{sh:obts} \cdot g_{gl:sh:wl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w:p} \cdot H_{sol:jul})}{A_H} \quad \text{Ec.12}$$

[kW/m²mes]

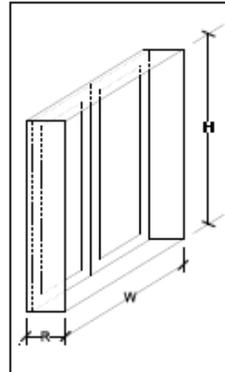
Siendo:

$F_{sh:obts}$	Factor reductor por sombreado por obstáculos externos (voladizos, aletas laterales, retranqueos, etc.) para el mes de julio de un hueco. Representa la reducción de irradiación solar incidente debido a las sombras.
$g_{gl:sh:wl}$	Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con el dispositivo de sombra móvil activado para el mes de julio de un hueco.
F_F	Es la fracción de marco del hueco
$A_{w:p}$	Superficie del hueco [m²]

$H_{sol:jul}$ Irradiación media acumulada del mes de julio para el clima considerado y la inclinación y orientación del hueco

Así pues, lo que nos queda ahora es calcular las distintas variables de la ecuación anterior para obtener el resultado de la ecuación.

Para el cálculo del factor reductor por sombreado ($F_{sh:obts}$) utilizaremos la tabla 51, correspondiente al caso de ventanas con retranqueo, que como se expuso en el apartado 4.1.2 de la memoria, en nuestro caso el retranqueo de todas las ventanas es de 0.1 m a excepción de las ventanas del ático que no están construidas con ello:



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
		S	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,82 0,76 0,56 0,35	0,74 0,67 0,51 0,32
SESO	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,86 0,79 0,59 0,38	0,81 0,74 0,56 0,36	0,72 0,66 0,47 0,32	0,51 0,47 0,36 0,23
EJO	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,91 0,86 0,71 0,53	0,87 0,82 0,68 0,51	0,81 0,76 0,61 0,48	0,65 0,61 0,51 0,39

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Tabla 51: Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Retranqueo. [4].

Por consiguiente el factor de reducción por sombreado se muestra en la tabla 52 denominado como R el retranqueo, H la altura de los huecos y W al ancho:

	Dimensión mxm	Orientación	R m	H m	W m	R/H	R/W	$F_{sh,obst}$	F_F
Vcoc	2x1,3	NE	0.1	1,3	2	0,077	0,050	0.86	0.2
Vhab1_1	2,2x1,3	NE	0.1	1,3	2,2	0,077	0,045	0.86	0.2
Vhab1_2	2,2x1,3	NO	0.1	1,3	2,2	0,077	0,045	0.86	0.2
VSa1_1	2,2x1,3	SE	0.1	1,3	2,2	0,077	0,045	1	0.2
VSa1_2	3,85x1,3	SO	0.1	1,3	3,85	0,077	0,026	1	0.2
Vhab2	2,2x1,3	NE	0.1	1,3	2,2	0,077	0,045	0.86	0.2
Vbañ2	0,35*2,2	SE	0.1	0,35	2,2	0,286	0,045	1	0.2
Vhab4	2,2x1,3	SO	0.1	1,3	2,2	0,077	0,045	1	0.2
Vbañ3	1,5x1,3	SO	0.1	1,3	1,5	0,077	0,067	1	0.2
Vati	2x1	SE NO	0.1	2	1	0,050	0,100	0.86 1	0.2
PET	0.89x2.1	NE	0.1	2.1	0.89	0.048	0.112	1	0.2
Pbal	1.5x2.1	NE	0.1	2.1	1.5	0.048	0.07	0.86	0.2

Tabla 52: calculo $F_{sh,obs}$ por ventana y puerta acristalada.

La transmitancia total de energía ($g_{gl:sh:w}$) se calcula a través de la tabla 53 donde se relaciona este valor con el tipo de dispositivo elegido de sombra móvil. En nuestros casos, hemos elegido tanto para las ventanas como para los lucernarios, persianas exteriores de color oscuro. Por lo que entrando en la tabla inferior, la transmitancia es 0.06 para ambos casos.

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ($p_{e,s}$)				Factor de reflexión ($p_{i,s}$)			
$T_{e,s}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Tabla 53: Transmitancia total de energía solar de huecos para distintos dispositivos de sombra móvil ($g_{gl:sh:w}$).

Los valores de porcentaje de marco y de área de las ventanas las encontraremos en las tablas 25, 26 y 27. Para el cálculo de la irradiación media la calculamos a partir de la tabla 54 donde se relaciona la orientación de la superficie y de la zona climática donde estamos, en nuestro caso la zona climática D2:

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61
C1	195.77	88.49	114.47	106.12	81.72	101.55	108.06	84	56.85
C2	217.19	96.61	128.05	117.89	88.17	111.22	118.78	90.17	58.23
C3	220.34	97.05	128.62	118.69	89.37	115.69	125.22	95.24	59.61
C4	235.35	101.78	136.41	126.01	94.84	121.68	130.08	97.16	60.36
D1	195.8	88.53	114.54	106.15	81.96	101.33	107.19	82.96	56.51
D2	217.18	94.76	125.48	116.31	88.51	113.39	121.59	92.18	58.27
D3	220.32	94.22	124.81	116.03	89.15	115.91	125.24	94.95	58.91
E1	195.79	88.95	114.88	106.34	82.09	101.16	106.71	82.58	56.67

Tabla 54: Irradiación solar media acumulada en el mes de julio ($H_{sol;jul}$) [kWh/m^2] para climas peninsulares, de las Islas Baleares, Ceuta y Melilla.

Realizando los cálculos a partir de la ecuación 12 de todas las ventanas y comparando los resultados con los valores límites del CTE que podemos

observar en la tabla 7 se comprueba en la imagen 3 que el valor acumulado es inferior a los límites establecidos, por lo que cumple con el requerimiento.

	Valores calculados	Valores límite	
Control solar, q_sol;jul [kWh/m ² .mes]	0,57	2,00	CUMPLE

Imagen 3: Resultados control solar en HULC [6].

2.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

En este caso, calcularemos la permeabilidad según el procedimiento que se explica en el CTE DB HE 2020 Anejo H [4] donde nos determina la permeabilidad del aire.

Para su cálculo, utilizaremos la siguiente ecuación 8:

$$n_{50} = 0.629 \cdot \frac{C_0 \cdot A_0 + C_h \cdot A_h}{V} \quad \text{Ec.13}$$

Siendo:

- C₀** Coeficiente de caudal de aire de la parte opaca de la envolvente, véase tabla 55. [m³/hm²]
- A₀** Superficie de la parte opaca de la envolvente térmica [m²]
- C_h** Permeabilidad de los huecos de la envolvente térmica, expresada en 100Pa [m³/hm²], tabla 56.
- A_h** Superficie de los huecos de la envolvente térmica [m²]
- V** Volumen de la envolvente térmica

Según lo expresado antes apoyándonos en la tabla 25, el valor del coeficiente del caudal de aire para nuevos edificios es 16.

Tipo de edificio	Co
Nuevo o existente con permeabilidad mejorada	16
Existente	29

Tabla 55: Valores de referencia del coeficiente de caudal de aire para la parte opaca de la envolvente [4]

En el cálculo de la permeabilidad de los huecos, tendremos que utilizar la tabla 56 donde se nos da el valor máximo permitido para la permeabilidad del aire. En nuestro caso, el valor máximo permitido es 9 m³/hm² por lo que será el valor máximo que utilizaremos a la hora de conocer el valor de la permeabilidad del aire (valor más desfavorable).

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos (Q _{100,lim}) [*]	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

Tabla 56: Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, Q_{100,lim} [m³/h·m²] [4]

Aplicando todos estos valores y junto con los datos característicos de la vivienda, las áreas necesarios para el cálculo y el resultado obtenido se recoge a continuación:

$$\begin{cases} A_h = 39.75 \text{ m}^2 \\ A_o = 373.1 - 39.75 = 333.35 \text{ m}^2 \rightarrow n_{50} = 5.67 \\ V = 630.98 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Verificando con la normativa según los valores que aparecen en la tabla 8, podemos ver en la imagen 4 que cumple.

	Valores calculados	Valores límite	
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,68	6,00	CUMPLE

Imagen 4: Resultados permeabilidad del aire en HULC.

2.4. Demanda térmica

A partir de todos estos datos obtenidos en los anteriores apartados y mediante la herramienta establecida por el Código Técnico de la Edificación HULC [6], podemos calcular la demanda térmica anual necesaria para la vivienda mostrada en la imagen 5:

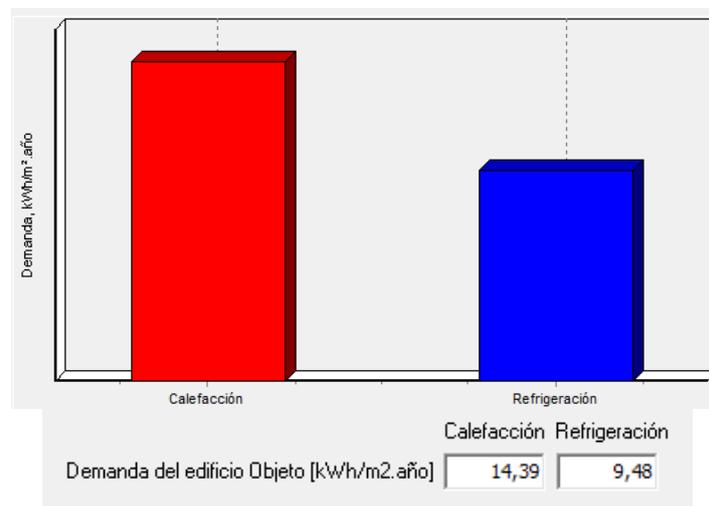


Imagen 5: Resultados demanda térmica anual en HULC.

A mayores, para el dimensionado de los sistemas de calefacción en los siguientes apartados, tomaremos la demanda térmica calculada a partir de las temperaturas de diseño de la tabla 4 con el fin de diseñar nuestro sistema para las temperaturas más desfavorables que se han tenido en la zona de construcción del edificio. Por consiguiente, sumando todas las pérdidas de energía calculadas anteriormente a satisfacer tenemos que:

$$D = 7309.98 \text{ W}$$

3. Demanda ACS

El cálculo de la demanda de agua sanitaria caliente se realiza a partir del Anejo F (Demanda de referencia de ACS) del documento básico HE de ahorro de energía del CTE [4].

El primer punto que debemos tener en cuenta es la temperatura de referencia de los cálculos y las necesidades por habitantes de la vivienda. Como temperatura de referencia, el CTE nos sugiere una temperatura de 60°C para evitar entre otros problemas enfermedades como la salmonelosis. En cuanto a las necesidades de agua en la vivienda, se considera que cada persona consumirá 28 litros/día.

El número de habitantes en la vivienda se obtendrá a partir de la cantidad de dormitorios que esta contenga según se recoge en la tabla inferior. En nuestro caso, la vivienda cuenta con 4 dormitorios, por lo que el número de personas para la cual está diseñada nuestra casa es para 5.

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

Tabla 57: Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado [4]

Por ese motivo, la demanda necesaria de ACS es **140 l/día**.

Una vez conocida la demanda de ACS necesitamos conocer la demanda de energía correspondiente a nuestra construcción, para ello utilizaremos la ecuación 14:

$$Q_{ACS} = D_{ACS} \cdot C_p \cdot (T_{ref} - T_{AF}) \quad [W] \quad \text{Ec.14}$$

Siendo:

D_{ACS}	Demanda de agua caliente anual a la temperatura elegida. Nuestro caso 60°C. [kg/l]
C_p	Calor específico del agua [J/kg°C]
T_{ref}	Temperatura de referencia [°C]
T_{AF}	Temperatura de agua fría de la red de municipio según la norma UNE 94002:2005 [13], tabla 58.

Como la localidad elegida para la construcción de la vivienda no es la capital de provincia y no se encuentran estas dos a la misma altitud, debemos hacer una conversión de las temperaturas a la altitud del municipio de Carpio teniendo en cuenta que la altitud capital (Valladolid) es de 690 msnm y la altitud del municipio de Carpio es de 759 msnm. Este cambio se realiza a partir de la ecuación 15 y se muestra en la tabla superior 58:

	$T_{AF,ref}$ °C	$T_{AF\ Carpio}$ °C
Enero	6,00	5,60
Febrero	8,00	7,60
Marzo	9,00	8,60
Abril	10,00	9,60
Mayo	12,00	11,60
Junio	15,00	14,60
Julio	18,00	17,60
Agosto	18,00	17,60
Septiembre	16,00	15,60
Octubre	12,00	11,60
Noviembre	9,00	8,60
Diciembre	7,00	6,60

Tabla 58: Temperaturas de referencia del agua fría de red para la capital y para Carpio [4], [13]

$$T_{AF} = T_{AF,ref} - B \cdot A_z \quad [W] \quad \text{Ec.15}$$

Dónde:

- $T_{AF,ref}$ Temperatura de agua fría de la red para Valladolid capital [°C]
- B Coeficiente a aplicar. De Octubre a marzo $B=0.0066$, resto del año 0.0033
- A_z Diferencia de altura entre las localidades. Altitud de la localidad-altitud de la capital [msnm]

Una vez conocido todos estos datos, procedemos al cálculo de la demanda de ACS a partir de la ecuación 15:

	Q_{ACS} kWh/mes	Q_{ACS} W
Enero	274,59	369,08
Febrero	238,90	355,51
Marzo	259,45	348,72
Abril	246,20	341,94
Mayo	244,31	328,37
Junio	221,77	308,02
Julio	214,02	287,66
Agosto	214,02	287,66
Septiembre	216,89	301,23
Octubre	244,31	328,37
Noviembre	251,08	348,72
Diciembre	269,55	362,29
Total=	2895,08	3967,57

Tabla 59: demanda de energía necesaria para ACS.

4. Potencia mínima necesaria ACS + Calefacción

La potencia máxima necesaria para nuestro sistema de energía auxiliar tiene que estar diseñado de tal manera que pueda dar suministro de energía a la instalación de calefacción y a su vez al porcentaje de demanda de ACS que no se consigue completar mediante los sistemas de energías renovables de solar.

Por lo tanto, a la hora de dimensionar la potencia máxima necesaria nos tendremos que poner en el caso más desfavorable de todos en cuanto consumo de energía, el caso en el que el sistema solar no entre en funcionamiento por una posible avería o que la radiación solar no sea suficiente y sea el sistema auxiliar quien tenga que proporcionar todo el calor.

En ese caso, el sistema auxiliar tendrá que proporcionar toda la demanda de ACS + calefacción.

Así pues, para la demanda de calefacción tomaremos la calculada anteriormente ya que se calculó para la temperatura más negativa. Para el ACS, se tomará la del mes de enero que como se puede ver en la tabla 59, es la mayor demanda requerida.

Por consiguiente, la potencia del sistema auxiliar deberá ser la suma de las dos más un 5% de margen de seguridad.

$$\text{Potencia min} = 9392 \text{ kW} \sim 9.5 \text{ kW}$$

5. Dimensionado de la instalación de calefacción

5.1. Dimensionado de los elementos radiantes

En este apartado, pretenderemos realizar el cálculo de los elementos radiantes que necesitaremos colocar en cada una de las estancias para mantener la temperatura interior de esta al mismo nivel que la temperatura de diseño establecida anteriormente en todas las estancias comentadas.

Para realizar este dimensionado, elegiremos un tipo de radiador que podamos compatibilizar con el tipo de instalaciones que se pretenden utilizar como sistema auxiliar de la vivienda. Como veremos más adelante, los sistemas que plantearemos estarán basados en instalaciones de baja temperatura con el fin de obtener mayores ahorros energéticos. Por todo ello, nuestra elección ha sido utilizar radiadores de aluminio de la marca Ferroli [14].

Una vez que conocemos los radiadores usados vistos en el apartado 5.3 de la memoria, podemos comenzar con el cálculo y dimensionado de los elementos radiantes requeridos. En esta labor, nos apoyaremos de dos documentos, la Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual, [15] y la normativa UNE EN 442 [16]. En estas dos nos requieren realizar el cálculo de la emisión calorífica a partir de la ley exponencial planteada en la ecuación 16.

Antes de todo, se debe conocer que las temperaturas normales de trabajo y para las que se certifican sus homologaciones en base a la normativa UNE EN 442 son: temperatura de entrada del agua ' T_e ' de 75°C, temperatura de salida del fluido ' T_s ' de 65°C, temperatura ambiente ' T_a ' de 20°C y salto térmico de 50°C.

$$Q_r = Q_{50} \left(\frac{\Delta T}{50} \right)^n = K_M \cdot \Delta T^n \quad [\text{W}] \quad \text{Ec.16}$$

Dónde:

Q_r	Potencia calorífica del radiador de la estancia j [W]
Q_{50}	Potencia calorífica del radiador correspondiente ΔT de 50°C (considerado por la UNE EN 442 condiciones normales)
ΔT	Salto térmico diferente a las condiciones normales [°C]
n	Exponente de la curva característica del emisor
K_M	Constante propia de cada radiador

Teniendo en cuenta que en los catálogos de elementos radiantes, los valores que nos dan son los de la constante propia y el exponente de la curva, aplicaremos la ecuación a partir del segundo miembro de la igualdad.

Por otro lado, el cálculo del salto térmico, ΔT , vendrá dado en función de las temperaturas de entrada, salida y ambiente de nuestro diseño. Por consiguiente, para obtener dicho valor deberemos aplicar el siguiente procedimiento de las ecuaciones 17 y 18:

$$\text{Si } \frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} \geq 0.7 \rightarrow \Delta T = T_m - T_a = \frac{T_e - T_s}{2} - T_a \quad \text{Ec.17}$$

$$\text{Si } \frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} < 0.7 \rightarrow \Delta T = \frac{T_e - T_s}{\ln \frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}} \quad \text{Ec.18}$$

Siendo:

$$\begin{aligned} \Delta T_s &= T_s - T_a \\ \Delta T_e &= T_e - T_a \end{aligned}$$

Una vez obtenido el valor de emisión térmica de uno de los elementos radiante, deberemos dimensionar el número de estos necesarios para cubrir la demanda de energía a suministrar en cada una de las estancias. Tendremos que tener en cuenta para ello los valores obtenidos en el apartado 2.4 de necesidades térmicas de calefacción de anexo para dimensionar cada estancia.

Comenzamos partiendo del modelo de radiadores elegidos para obtener la expresión de la curva característica de cada elemento. Tenido en cuenta que las constantes de nuestros elementos radiantes Ferroli XIAN N 600N son:

$$\begin{aligned} n &= 1.31423 \\ K_m &= 0.718974 \end{aligned}$$

La curva característica resultante es:

$$Y = 0.718974 \cdot \Delta T^{1.31423} \quad \text{Ec.19}$$

Representando la curva anterior, el elemento para el elemento radiante elegido tendremos la siguiente distribución, imagen 6.

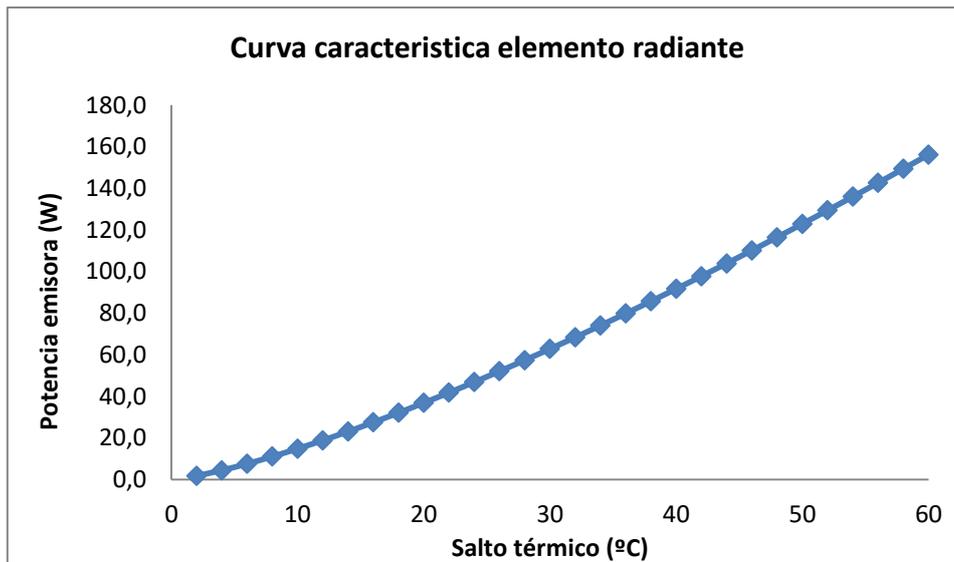


Imagen 6: Curva característica elemento radiante de aluminio Ferrolí Xian N 600N.

Una vez conocida la curva característica, necesitaremos conocer los valores de operación de nuestra vivienda. Para ello, tendremos que tener en cuenta que nuestras condiciones de trabajo vendrán relacionadas con los sistemas de energía aplicada en nuestro trabajo. Debido a que las máquinas de baja temperatura que plantearemos a continuación tienen la limitación de trabajar a bajas temperaturas y por consiguiente en lo que se refiere a nuestro circuito de calefacción, éste deberá adaptarse a dicha característica. Por esta razón, se ha optado por trabajar con una temperatura del agua a 60°C lo que hace que consigamos tener los mayores rendimientos en todos nuestros sistemas.

A la hora del dimensionado del circuito, lo realizaremos para una temperatura de entrada del agua en el radiador de 60°C, es decir, consideraremos que las pérdidas de temperatura a lo largo de todo el circuito son prácticamente nulas, lo que provocará que se pueda considerar la premisa de que a la entrada de todos los radiadores tengamos la misma temperatura efectiva, T_e . Esta premisa, lo podremos asegurar teniendo en cuenta que el circuito hidráulico de la instalación de calefacción es bitubo y de retorno invertido. La temperatura de retorno vendrá dada a partir del caudal que tengamos en el circuito hidráulico de retorno. Aun así, en estas máquinas se puede llegar a conseguir una caída de temperatura entre a entrada y salida de hasta 10°C, lo que provoca en nuestros radiadores un salto térmico de 30°C, valor para el que dimensionaremos nuestro circuito. Con todo esto, hemos fijado las temperaturas de trabajo de nuestra calefacción en: T_e de 60°C y la T_s de 50°C.

Teniendo en cuenta estos valores, podremos calcular la potencia emisora de cada uno de los elementos radiantes. En este cálculo, lo primero que deduciremos será el salto térmico aplicando la ecuación 17 o 18, dependiendo en el caso que nos encontremos:

$$\begin{cases} \Delta T_s = T_s - T_a = 50 - 23 = 27^\circ C \\ \Delta T_e = T_e - T_a = 60 - 23 = 37^\circ C \end{cases} \rightarrow \frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} = 0.729 > 0.7 \rightarrow ec. 17$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{T_e - T_s}{2} - T_a = 32^\circ C$$

Con un salto térmico de 32°C podemos calcular a partir de la ecuación característica del radiador la potencia emisora que tiene ese elemento radiante. Aplicando la ecuación 19, la potencia emisora resulta ser de 68.4W.

Estancia	Q_e (W)	Q_r (W) (ΔT 32°C)	Elementos radiantes	Q_r (W)
Cocina	855.40	12,51	12	820,80
Habitación 1	816.13	11,94	12	820,37
Baño 1	526.77	7,71	8	546,91
Salón	1449.6	21,2	22	1504,0
Hall principal	196.60	2,88	3	205,09
Habitación 2	620.12	9,07	10	683,64
Habitación 3	595.62	8,71	9	615,27
Baño 2	561.69	8,22	9	615,27
Habitación 4	704.16	10,30	11	752,0
Baño 3	594.39	8,69	9	615,27
Ático	1585.76	23,20	24	1640,73

Tabla 60: Dimensionado elementos radiantes por estancia.

A partir del valor de potencia emisora, necesitamos cubrir toda la energía perdida en cada estancia con dichos radiadores. Para su cobertura, calcularemos el número de elementos radiantes necesarios a colocar en cada estancia con el fin de cubrir entre el 95-100% de la demanda total como se puede ver reflejado en la tabla 60. Este estudio del número de elementos radiantes se realiza mediante la disipación máxima de energía en el día más frío, por lo que con esta repartición, nos aseguramos que tengamos cubierta nuestra vivienda para todo el rango de temperaturas de invierno.

Estancia	Elementos radiantes	Nº radiadores	Elementos por radiador
Cocina	12	1	12
Habitación 1	12	1	12
Baño 1	8	1	8
Salón	22	2	11
Hall principal	3	1	3
Habitación 2	10	1	10
Habitación 3	9	1	9
Baño 2	9	1	9
Habitación 4	11	1	11
Baño 3	9	1	9

Tabla 61: Repartición elementos radiantes por estancia.

A parte de todo esto, cabe destacar que según el catálogo de los radiadores elegidos, el fabricante nos sugiere tener como máximo 12 elementos radiantes colocados juntos y como mínimo 2. Por ese motivo en la tabla 61, podremos verificar con los datos anteriores, como quedarán divididos por estancias el número de radiadores y cuantos elementos radiantes poseerá cada uno.

5.2. Sistema del circuito hidráulico

5.2.1. Tuberías

En este apartado nos encargaremos de caracterizar y dimensionar la red de tuberías de la instalación de calefacción de nuestra vivienda.

Para dicho trabajo comenzaremos partiendo de los materiales que componen nuestro circuito. Normalmente, las tuberías más comunes son las metálicas de cobre ya que admiten condiciones de trabajo muy superiores a las de otros elementos.

En el caso del aislamiento, tendremos que tener en cuenta que se tomara la premisa anteriormente de que la temperatura se mantiene prácticamente invariable en todo el circuito de calefacción, lo que esto implica es que, además de poseer un circuito bitubo, este deberá estar aislado de la manera más eficiente para disminuir las pérdidas de energía a través de ellos. En este sentido, la Guía Técnica de las Instalaciones de Calefacción Individual [15] nos recomienda aislar las tuberías cuando la temperatura del agua que circula a través de ellas es superior a 40°. En nuestro caso, al tener el agua circulando a una temperatura de 60°C deberán estar aisladas. Además de este aislante, con el fin de disminuir el intercambio de calor, procederemos a realizar toda la instalación por el interior de los cerramientos y situados a la altura del rodapié.

Con todo esto, lo que nos quedaría por conocer es el espesor mínimo necesario del aislante de las tuberías para minimizar esas pérdidas. Este espesor viene establecido en la Guía a partir del diámetro de la tubería y de la temperatura del agua que se transporte en su interior.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, necesitamos conocer el valor del diámetro de distribución de la red de calefacción. Para realizar dicho dimensionado, deberemos tener presente que la instalación está realizada con tubos de cobre de rugosidad ϵ' 0,0015 mm. Esta red de tuberías esta compuesta en distintos tramos y con diferentes secciones dependiendo del número de radiadores, la potencia calorífica que tiene que suministrar cada uno de ellos y del caudal a transportar por. Esto es debido a que nuestra instalación

esta diseñada con una red bitubo donde todo el caudal de la red no pasa por todos los radiadores como se puede observar en la imagen 7 o lo que es lo mismo, las tuberías que parten de la red central a cada radiador deberán estar dimensionadas para el mismo caudal, secciones 1-2, 3-4 y 3''-5, mientras que a tubería principal de reparto, estará dimensionada teniendo en cuenta la suma de caudales de todos los radiadores que se encuentran a continuación. Así, el tramo 1-3 tendrá el doble de caudal que el 3-5. Con esto, y utilizando de base los planos de distribución de calefacción iremos realizando el cálculo de los diámetros para los tramos indicados.

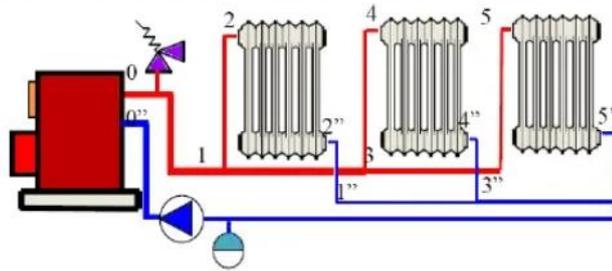


Imagen 7: Instalación de calefacción con radiadores bitubo y retorno invertido.[17].

Cabe tener en cuenta, que la red de distribución de tuberías, se realiza teniendo ante la necesidad de plantear el número mínimo de metros de longitud de conductos y así minimizar las posibles pérdidas. Por consiguiente, se ha optado de plantear un circuito en cada una de las plantas, como se muestra en los planos 12, 13 y 14 de calefacción, que recorrerán todo el contorno de la vivienda y unirá todos los radiadores de dicha planta.

A la hora de realizar el cálculo del diámetro de las tuberías, lo primero que tendremos que considerar es un valor de pérdidas de carga máximo y una velocidad de circulación del fluido dentro del conducto. Estos valores serán tomados según lo establecidos en el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE [18] para las instalaciones de baja temperatura.

En el caso de las pérdidas de carga unitarias, nos requiere que el valor nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal. En nuestro estudio, utilizaremos una pérdida de carga no superior a 20 mmca para así minimizar esas pérdidas.

En cuanto a la velocidad del fluido, la normativa nos requiere que para tuberías donde la circulación discurra entre locales habitados, la velocidad máxima admisible sea de 2 m/s, mientras que por estancias no habitables pueden llegar a alcanzarse velocidades de hasta 3m/s. En nuestro dimensionado, verificaremos que la velocidad en todos los conductos no supere 1 m/s, valor recomendado por los fabricantes de tuberías de cobre.

Una vez dicho esto, plantearemos la resolución de nuestro sistema a partir de las ecuaciones de la mecánica de fluidos para conductos circulares con

flujos viscosos incomprensibles y estacionarios. Partiremos de la ecuación de las pérdidas de energía en flujo laminar para conductor circulares basadas en las ecuaciones de Darcy-Weisbach [19] para verificar si las pérdidas por fricción, h_f , del circuito.

$$h_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \text{ [mca]} \quad \text{Ec.20}$$

Siendo:

- f** Factor de fricción de la tubería dependiente del número de Reynolds, ec.21, de la geometría de la tubería y de los materiales de la tubería)
- L** Longitud del circuito
- d** Diámetro del conducto
- v** Velocidad del fluido dentro del conducto
- g** Gravedad (9.8 m/s)

Para el cálculo del factor de fricción, f , necesitaremos apoyarnos del diagrama de Moody, imagen 8, de la ecuación de Reynolds, ec.21 y de la rugosidad relativa del conducto, ec.22. A mayores para este cómputo, necesitaremos conocer las características de las tuberías para llegar a obtener la contribución de las pérdidas de energía debido al transporte del líquido en estas.

Ecuación de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad \text{Ec.21}$$

Dónde:

- ρ** Densidad del fluido caloportador [kg/m^3]
- μ** Viscosidad del fluido caloportador [$\text{kg/s}\cdot\text{m}$]

Ecuación de la rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{d} = \text{rugosidad reativa} \quad \text{Ec.22}$$

Siendo:

- ε** Rugosidad de la tubería [m]

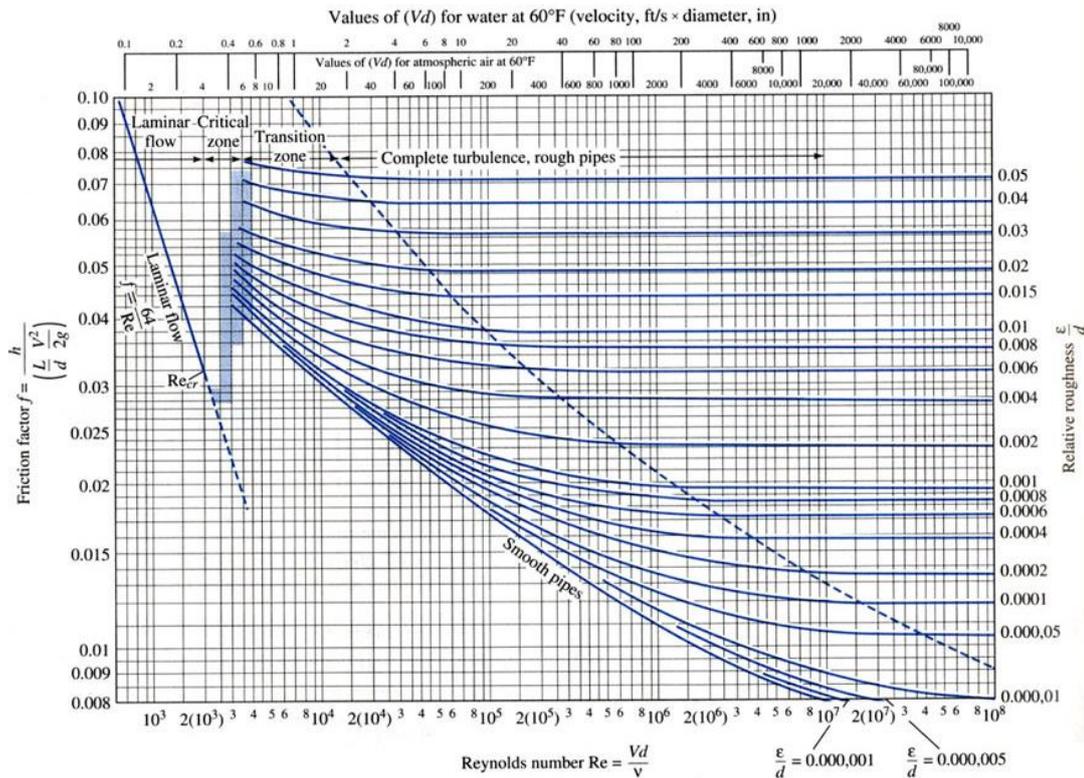


Imagen 8: Diagrama de Moody [15]

Este procedimiento de cálculo precisa de realizarse mediante interpolación utilizando las ecuaciones anteriores debido a que nuestra incógnita es el dato principal en el que se basan las anteriores ecuaciones 20, 21 y 22, f . Por este motivo, comenzaremos con un valor del factor de fricción, ' f ', arbitrario con el que podremos calcular el diámetro de la tubería conociendo las pérdidas de carga máximo. Una vez obtenido ese valor se podrá calcular el número de Reynolds para volver a obtener un valor de fricción. Con este procedimiento, continuaremos hasta que el valor de fricción calculado mediante la imagen 8 coincida, entonces, el valor del diámetro corresponderá con el calculado en esa última interpolación.

Aun así con todo esto, tenemos que tener en cuenta que para dimensionar la red de distribución de tuberías, cuanto menor es el diámetro de la tubería, mas pérdidas de carga se producen, más se reduce el caudal y menor es la potencia calorífica, pero al mismo tiempo mayor es la superficie de pérdidas de calor. Así pues, para una instalación de radiadores, necesitamos calcular el diámetro específico de cada uno de los tramos con el fin de evitar mayores pérdidas energéticas. Como consecuencia, este cálculo de los diferentes diámetros de los tramos, se realizará en función de la potencia de cada uno de los radiadores que tenemos instalados como aparece en la ecuación 23.

$$M = \frac{Q_r}{P_e C_e \Delta T} \quad \text{Ec.23}$$

Dónde:

M	Caudal del radiador [l/h]
Q_r	Potencia calorífica del radiador [kcal/h]
P_e	Peso específico del agua =1 kg/l
C_e	Calor específico del agua = 1 kcal/kg°C
ΔT	Salto térmico [°C]

Una vez establecido el procedimiento de cálculo del caudal que transcurrirá por cada radiador, procederemos a aplicar la ecuación 23 y comprobar la cantidad de agua que necesitaremos para conseguir donar a la estancia el poder calorífico deseado como se puede ver en la tabla 62.

	Denominación	Q_r (W)	Q_r (kcal/h)	M (l/h)
Cocina	R3	888.73	764.31	76.43
Habitación 1	R5	820.37	705.51	70.55
Baño 1	R6	546.91	470.34	47.03
Salón	R1	752.00	646.72	64.67
	R2	752.00	646.72	64.67
Hall principal	R4	205.09	176.38	17.64
Habitación 2	R7	683.64	587.93	58.79
Habitación 3	R8	615.27	529.14	52.91
Baño 2	R9	615.27	529.14	52.91
Habitación 4	R10	752.00	646.72	64.67
Baño 3	R11	615.27	529.14	52.91
Ático	R12	820.37	705.51	70.55
	R13	820.37	705.51	70.55

Tabla 62: Caudal necesario a circular por cada radiador.

Para el cálculo del diámetro, deberemos de tener en cuenta la norma UNE-EN 1057, [20], donde se nos establecen los valores para los diámetros de las tuberías de cobre normalizados para las instalaciones sanitarias o de calefacción mostrados en la imagen 9.

Espesor de pared nominal en mm Diámetro exterior nominal en mm	Diámetro interior en mm											
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
6		4,8		4,4		4						
8		6,8		6,4		6						
10		8,8	8,6	8,4		8						
12		10,8	10,6	10,4		10						
14				12,4		12						
15			13,6	13,4		13						
16						14						
18				16,4		16						
22					20,2	20	19,8	19,6	19			
28					26,2	26		25,6	25			
35						33		32,6	32			
40						38						
42						40		39,6	39			
54						52		51,6	51	50		
64										60		
66,7								64,3		62,7		
76,1									73,1	72,1		
88,9										84,9		
108									105		103	

Imagen 9: Diámetros normalizados instalaciones calefacción [20].

Con toda esta teoría y los valores comentados anteriormente, comenzamos el proceso iterativo con un valor inicial de fricción inicial de 0.03. A causa de este proceso, en la tabla 63 se recogen los cálculos realizados hasta llegar a obtener el mismo valor de fricción que en la anterior iteración. Por consiguiente, el diámetro interior obtenido resulta ser de 9.13 mm. Como para la UNE-EN 1057 [20] este diámetro no está normalizado, deberemos elegir el diámetro consecutivo que nos sugiera la norma. En este caso, tomaremos como diámetro interior 10 mm.

F_0	d (m)	RE	ϵ/d	f
0,02	0,00821	6932,19	0,00018272	0,034
0,034	0,00913	6234,20	0,00016432	0,034

Tabla 63: Cálculo diámetro de la tubería mediante interpolación con el diagrama de Moody para el radiador R3 (cocina).

Extrapolando el cálculo realizado para el radiador de la cocina, calculamos el diámetro en el resto de tramos de la casa como se plantea en la tabla 64.

	tramo tubería	Radiadores	Caudal (m³/s)	D_{int} (m)	D_{norma int} (m)	D_{norma ext} (m)
Planta baja	a-b	R1+R2+R3+R5+R6+R4+R7+R8+R9+R10+R11+R12+R13	2,12E-04	0,0214	0,026	0,028
	b-c	R1+R2+R3+R5+R6+ R4	9,47E-05	0,0161	0,020	0,022
	c-d	R1+R2+R3+R5+R6	8,17E-05	0,0152	0,016	0,018
	d-e	R1+R2+R3+R5	6,21E-05	0,0137	0,014	0,016
	e-f	R1+R2+R3	5,72E-05	0,0133	0,014	0,016
	f-g	R1+R2	3,59E-05	0,0111	0,012	0,014
	g-h	R1	1,80E-05	0,0091	0,010	0,012
Primera planta	b-i	R11+R10+R9+R8+R7+R12+R13	1,18E-04	0,0173	0,020	0,022
	i-j	R11+R10+R9+R8+R7	7,84E-05	0,0149	0,016	0,018
	j-k	R11+R10+R9+R8	6,21E-05	0,0136	0,014	0,016
	k-l	R11+R10+R9	4,74E-05	0,0124	0,013	0,015
	l-m	R11+R10	3,27E-05	0,0107	0,012	0,014
	m-n	R11	1,74E-06	0,0080	0,008	0,010
Ático	i-ñ	R13+R12	3,92E-05	0,0115	0,012	0,014
	ñ-o	R13+R12	3,92E-05	0,0115	0,012	0,014
	o-p	R13	1,96E-05	0,0088	0,010	0,012

Tabla 64: Distribución diámetro tuberías de calefacción

Para terminar con las tuberías, necesitaremos hablar del aislamiento térmico ya que es un aspecto muy importante a la hora de reducir las pérdidas de calor. En la guía de climatización, se exige un espesor mínimo de aislamiento dependiendo del valor del diámetro exterior de la tubería y de la temperatura del fluido de su interior. En nuestro caso, estaríamos para todas las tuberías en el primer grupo, diámetro exterior de tubería menor a 35 mm por lo que el espesor mínimo necesario será de 25 mm.

5.2.2. Bombas de impulsión

A la hora de dimensionar la bomba que necesitaremos para mover el agua de calefacción a través de los tubos, es necesario seleccionar la potencia justa para nuestro circuito. Esta decisión es debida a que si elegimos una con mucha potencia, esta podrá ocasionar ruidos molestos en la vivienda, mientras que si elegimos una con poca potencia, dejará parte del circuito sin alimentación de agua y por lo tanto, sin circulación de agua.

Esta selección la realizaremos a partir del cálculo de la ecuación característica de nuestra instalación donde nos dará la información necesaria para buscar una bomba de impulsión compatible con nuestra instalación. Esta bomba deberá ser capaz de asumir el punto de funcionamiento de nuestra bomba y adaptarse a las posibles variaciones del circuito, como por ejemplo de caudal.

En estos cálculos se debe comenzar con el cálculo de la curva característica de nuestra instalación de calefacción. Para ello, se necesita aplicar la ecuación de conservación de energía de la ecuación 24, [19], teniendo en cuenta que el agua deberá recorrer todos los radiadores de la vivienda en el caso más desfavorable.

$$\left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) - \left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) = W - F \quad \text{Ec.24}$$

Dónde:

P/ρ	Energía de presión del fluido
$v^2/2$	Energía cinética
gz	Energía potencial
W	Trabajo mecánico realizado por un equipo externo
F	Perdidas de nuestro sistema

Teniendo en cuenta la anterior ecuación 24, la presión a lo largo de todo el circuito se considerará constante, por lo que el término de energía de presión entre dos puntos lo podremos considerar nulo. Del mismo modo, el caudal se considerará constante y por consiguiente, el término de energía cinética también resultará ser nulo.

El término de pérdidas por consiguiente, tendrá que recoger todos los desgastes que aparezcan en la tubería y elementos característicos: codos, elementos singulares, uniones, etc. recogido en la ecuación 20 utilizada para el cálculo de las pérdidas de carga. En este caso se pueden considerar las pérdidas de los puntos singulares y accesorios como un 30% de las pérdidas globales de las tuberías como se expone en la Guía Técnica de selección de Equipos de Transporte y Fluidos del IDEA [21].

Con todo esto dicho hasta el momento la ecuación 24 quedará reducida a la expresión de la ecuación 25.

$$(z_2 - z_1) = \frac{W}{g} - f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \cdot (1 + 0.3) \quad \text{Ec.25}$$

A partir de esta ecuación, podremos considerar el término W/g como H pasándose a denominar dicho valor como el valor de la curva característica, o lo que es lo mismo, el trabajo que debe de soportar el equipo externo para definir nuestra instalación.

Tomando como referencia la Guía Técnica donde se nos expone que en el caso de instalaciones donde el circuito esté cerrado, el término de variación de alturas se puede despreciar. Por consiguiente la curva característica de nuestra instalación ' H_i ', vendrá dada por la ecuación 26, donde se puede comprobar que esta viene determinada por el caudal total a mover por toda la red de

tuberías en el caso más desfavorable y la pérdida de carga de toda la instalación, es decir, las pérdidas de carga en las tuberías y elementos que forman toda la instalación de calefacción.

$$H_i = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \cdot (1 + 0.3) \quad \text{Ec.26}$$

A la hora de aplicar la ecuación 26 para el cálculo de la instalación, necesitaremos tener caracterizada nuestra red de tuberías en función de los caudales y longitudes de paso, como se pueden observar en la imagen 10 para poder calcular las pérdidas que conllevan cada uno de los tramos.

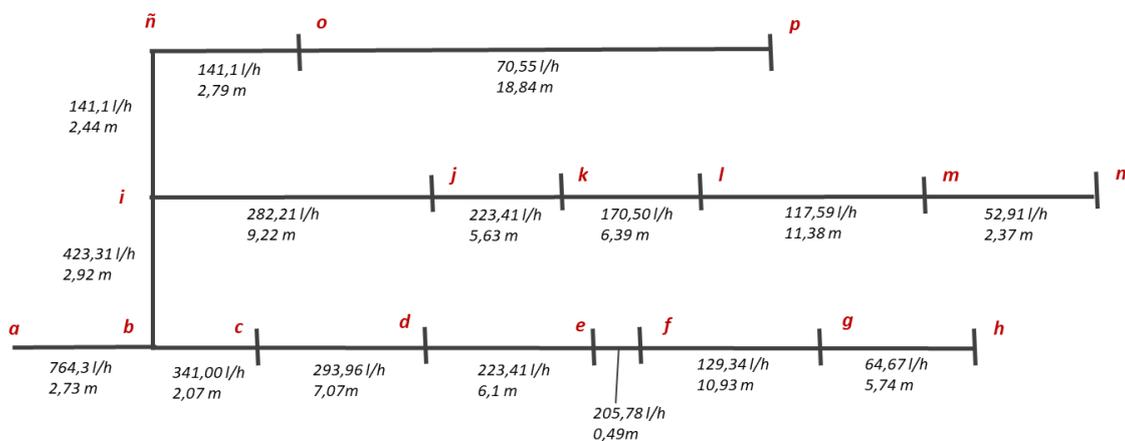


Imagen 10: Esquema de la red de calefacción para el punto máximo de trabajo.

A partir de estos datos, aplicamos la ecuación 26 para calcular todas las pérdidas de la instalación usando como material de apoyo el diagrama de Moody de la imagen 8 y el mismo procedimiento que se ha utilizado anteriormente. Hay que tener en cuenta que inicialmente elegimos una red donde las pérdidas máximas por metro no superarían los 20 mmca, por ese motivo, al realizar la elección del diámetro anteriormente sobredimensionando al diámetro normalizado consiguiendo que las pérdidas de carga sean menores que las establecidas inicialmente como se verá en la tabla 65 de cálculo.

Tramo tubería	Caudal (l/s)	Longitud (m)	d (m)	v (m/s)	Re	ϵ/d	f	Hp/m (mmca)	Hp (mmca)
a-b	0,2123	2,73	0,026	0,3999	21888	5,77E-05	0,027	8,47	23,13
b-c	0,0947	1,17	0,020	0,3015	12695	7,50E-05	0,030	6,96	8,14
c-d	0,0817	0,9	0,016	0,4061	13680	9,38E-05	0,030	15,78	14,20
d-e	0,0621	7,07	0,014	0,4031	11882	1,07E-04	0,030	17,77	125,63
e-f	0,0572	6,59	0,014	0,3713	10944	1,07E-04	0,030	15,07	99,34
f-g	0,0359	10,93	0,012	0,3177	8025	1,25E-04	0,032	13,73	150,08
g-h	0,0180	5,74	0,010	0,2287	4815	1,50E-04	0,036	9,61	55,16
b-i	0,1176	2,92	0,020	0,3743	15759	7,50E-05	0,030	10,72	31,31
i-j	0,0784	9,22	0,016	0,3899	13133	9,38E-05	0,030	14,54	134,07
j-k	0,0621	5,63	0,014	0,4031	11882	1,07E-04	0,030	17,77	100,04
k-l	0,0474	6,39	0,013	0,3568	9765	1,15E-04	0,031	15,49	98,98
l-m	0,0327	11,38	0,012	0,2888	7296	1,25E-04	0,033	11,70	133,17
m-n	0,0147	3,37	0,008	0,2924	4925	1,88E-04	0,360	196,31	661,57
i-ñ	0,0392	2,44	0,012	0,3466	8755	1,25E-04	0,032	16,34	39,87
ñ-o	0,0392	2,79	0,012	0,3466	8755	1,25E-04	0,032	16,34	45,59
o-p	0,0196	18,84	0,010	0,2495	5253	1,50E-04	0,036	11,44	215,45
Suma perdidas (mmca)									1935,73
Perdidas otros elementos (+30%) (mmca)									580,72
Total (mmca)									2516,45

Tabla 65: Cálculo pérdidas de la instalación calefacción

Teniendo en cuenta que el circuito es de ida y vuelta, las pérdidas totales serán el doble de las obtenidas anteriormente. Por consiguiente, los valores en las condiciones más adversas, la bomba deberá proporcionar un caudal de 764.3 l/h y una altura de 5032 mmca.

Representando la curva característica según el procedimiento de la Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual del IDAE [15]:

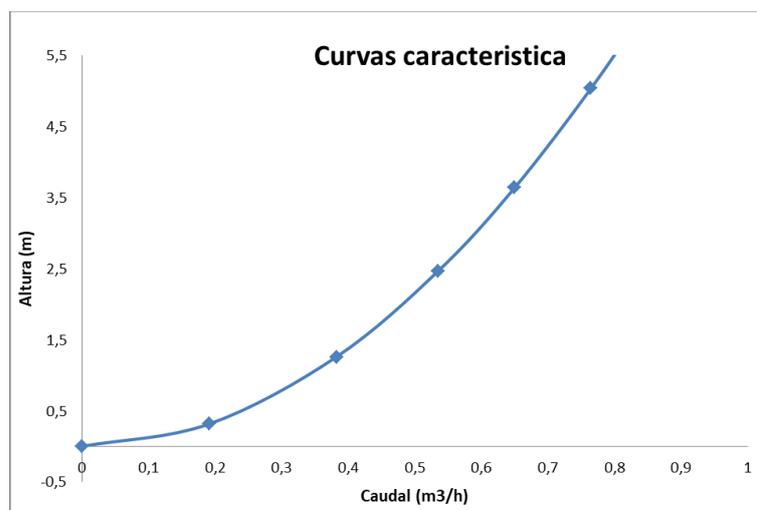


Imagen 11: Curva característica instalación de calefacción

Partiendo de la curva anterior y a través de los catálogos de los fabricantes de bombas las curvas quedan de la siguiente manera. Bomba elegida, BAXI MYL30 [22].

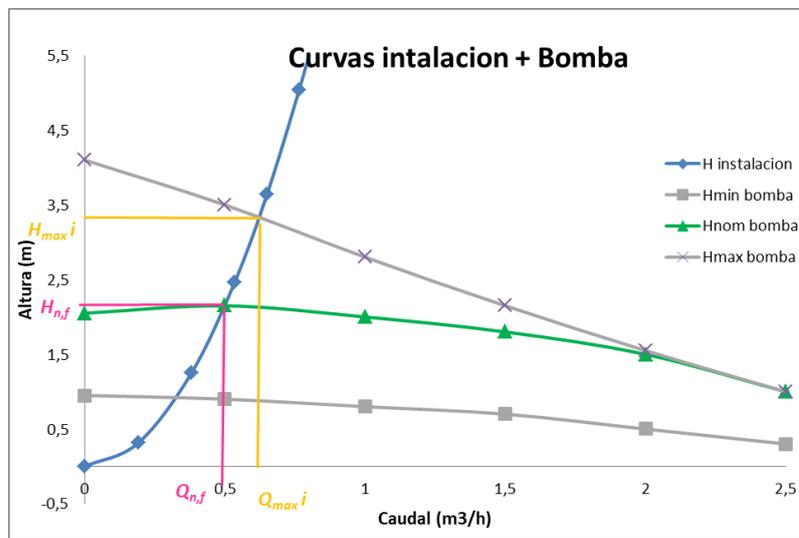


Imagen 12: Curva característica instalación de calefacción y de la bomba comercial

Por consiguiente, de esta imagen 12 se puede sacar en conclusión que las condiciones óptimas de funcionamiento de la bomba será para:

$$\begin{cases} \text{Caudal} = 0.5 \text{ m}^3 \\ \text{Altura} = 2.1 \text{ m} \end{cases}$$

6. Dimensionado de la instalación solar

6.2. Generalidades

En este apartado pretendemos realizar el cálculo del dimensionado de la instalación solar que vamos a utilizar en nuestra vivienda con el fin de contribuir al ahorro de energía.

La normativa en este sentido nos establece un porcentaje mínimo de energía renovable que debemos cubrir para la demanda de agua caliente sanitaria, teniendo en cuenta que en ningún momento se nos establece algún requerimiento para la calefacción. Según el nuevo CTE DB-HE 2020 [4], para viviendas de nueva construcción sin piscina y con un consumo de ACS inferior a 5000l/d la demanda mínima a cubrir es de 60% teniendo en cuenta las pérdidas por distribución, acumulación y recirculación.

6.3. Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica.

Como se ha explicado anteriormente, para poder calcular el aporte de los captadores solares es necesario conocer las pérdidas que existen en la captación de la energía debido a características externas a las placas como son: la orientación del captador solar, la inclinación de la instalación, las sombras y la integración arquitectónica del sistema.

Las pérdidas del sistema de captación y las posibles sombras vienen cuantificadas en el Pliego de Condiciones del IDEA [18], como un porcentaje mostrado en la tabla 66, el cual, no se puede superar si queremos conseguir la certificación energética. En nuestro caso para una vivienda de nueva construcción entraríamos en el grupo general donde el porcentaje de pérdidas es más restrictivo.

	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Tabla 66: pérdidas máximas admisibles de los sistemas de captación.

Se considerará para los cálculos y planteamiento del sistema como orientación óptima la dirección sur y se establecerá como la mejor inclinación (β) el valor de la latitud en grados corrigiéndolo con un factor dependiente de la diferencia entre la latitud de referencia (41°) y la de nuestra vivienda considerando que tenemos un consumo constante anualmente. En nuestro

caso, ese factor sería cero ya que las latitudes de referencia y del municipio son las mismas.

Una vez establecidos los puntos clave iniciales comenzamos con los cálculos de pérdidas de orientación e inclinación. Partiendo de:

- Ángulo de inclinación (β): es el ángulo que se forma entre la superficie del captador y la horizontal, imagen 13.
- Ángulo azimut (α): es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador al meridiano del lugar, imagen 13.

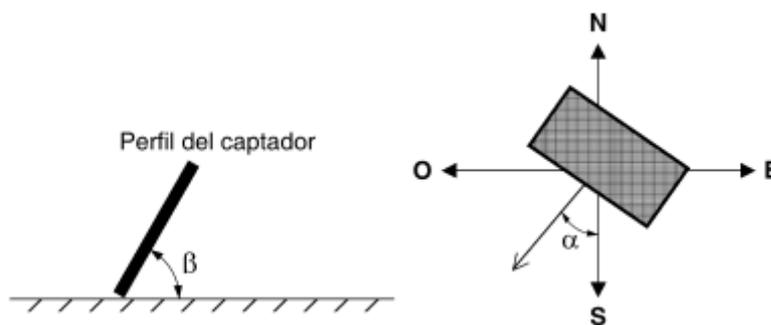


Imagen 13: Izq: ángulo de inclinación del captador. DRCHA: ángulo azimut. [18]

En nuestro caso, como se comentó anteriormente, el ángulo de inclinación coincide con el de la latitud del municipio. Como se expuso en el apartado 2 de la memoria, la latitud del municipio de Carpio es de 41° . Mientras que el ángulo azimut será de 32° , orientación SO, según se puede ver en el anexo planos, plano 5.

$$\begin{cases} \beta = 41^\circ \\ \alpha = 32^\circ \end{cases}$$

Aun estableciendo todo lo dicho anterior, se recomienda realizar la comprobación de la inclinación máxima y mínima permitida de los captadores dependiendo del valor del azimut y utilizando como apoyo la figura 14. En dicha figura entraremos con el valor del ángulo α y calcularemos la inclinación mínima como la intersección entre dicho ángulo con el límite de pérdidas del 10% (círculo interior). Del mismo modo, calcularemos el ángulo máximo de inclinación como el punto de intersección entre el azimut y el límite de pérdidas del 90-95%.

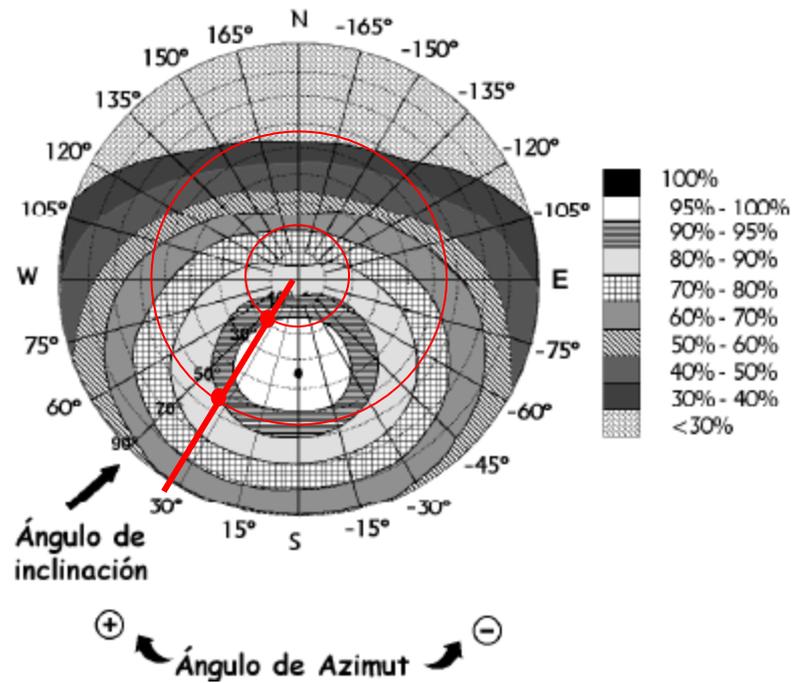


Figura 14: Método gráfico de pérdidas de orientación e inclinación [18]

Por lo tanto:

$$\begin{cases} \text{Inclinación máxima} = 55^\circ \\ \text{Inclinación mínima} = 20^\circ \end{cases}$$

Como el valor elegido de β se encuentra entre los valores calculados, podemos decir que el valor anterior es válido para nuestro captador solar. Aun así, si queremos ir un paso más allá y seguir cumpliendo con la normativa, necesitaremos ver la posibilidad de conseguir la integración y superposición arquitectónica en la colocación de las placas solares, para ello, necesitaremos que las placas estén colocadas paralelas a la cubierta de la envolvente térmica. En nuestro caso, la cubierta tiene una inclinación de 25° , dentro de las tolerancias antes calculadas, por lo que podremos suponer como ángulo de colocación de nuestras placas ese valor.

Con estos valores podremos calcular las pérdidas aplicando la ecuación 27 establecida en el IDEA [18]:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100x[1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5}\alpha^2] \quad \text{Ec.27}$$

Dónde:

- β Ángulo de inclinación del captador solar
- β_{opt} Ángulo de inclinación óptimo con la mejor inclinación
- α Ángulo de azimut

Resolviendo la ecuación 27, las pérdidas por inclinación y orientación son 6.66 %.

En referencia a las pérdidas por sombra, consideraremos que no existen pérdidas relacionadas con este factor por la ausencia de obstáculos. En el caso de necesitar colocar más de un captador, supondremos en este momento, que estos se encontraran a una distancia lo suficientemente grande como para que no existan sombras.

6.4. Sistema del circuito hidráulico

6.4.2. Fluido caloportador

Para la caracterización del fluido caloportador necesitamos realizarlo a través de sus curvas características de comportamiento en un captador solar. Este fluido se caracteriza por estar formado por un anticongelante diluido en una base de agua

Como se ha visto en el apartado 4 de la memoria, el anticongelante elegido para nuestro fluido caloportador ha sido el *propilenglicol* debido a que sus características químicas cumplen con las exigencias tanto del Código Técnico de la Edificación como los requerimientos de los captadores elegidos. Una vez conocido esto necesitamos caracterizar al fluido a partir de sus propiedades.

La composición de dicho fluido caloportador se calculara a partir de las curvas de congelación de dichos fluidos donde se nos especificará el porcentaje mínimo de anticongelante que deberá tener la disolución. El CTE nos indica que nuestra instalación tendrá que estar diseñada para soportar la temperatura mínima que se conozca del municipio más 5°C de margen de seguridad. En nuestro caso para Carpio, la temperatura mínima registrada según IDAE, [23], es -11.8°C, Por consiguiente, entraremos en la imagen 15 con una temperatura de -16.8 °C.

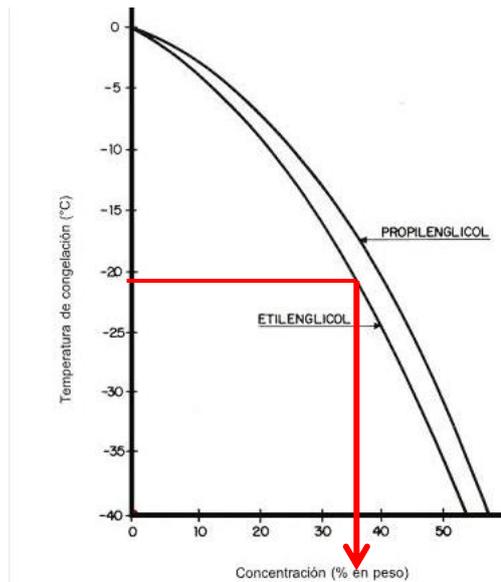


Imagen 15: Curvas de congelación de dos preparados de etilenglicol y propilenglicol, en función de la concentración. [23]

Por todo ello, el fluido caloportador se compone por una mezcla de propilenglicol al 35% y agua al 75%.

Una vez que tenemos la mezcla pasaremos a calcular la viscosidad y densidad de nuestro fluido, para ello, utilizaremos las ábacos correspondientes a dicho congelante que aparecen en las imágenes 16. Estas propiedades se tendrán que determinar a partir de la temperatura de trabajo del fluido que consideraremos que será de 60°C.

- Viscosidad (μ)= 1.4 cp=1.4 g/s·cm=0.0014 kg/s·m
- Densidad (ρ)= 1.005 g/cm³=1005kg/m³

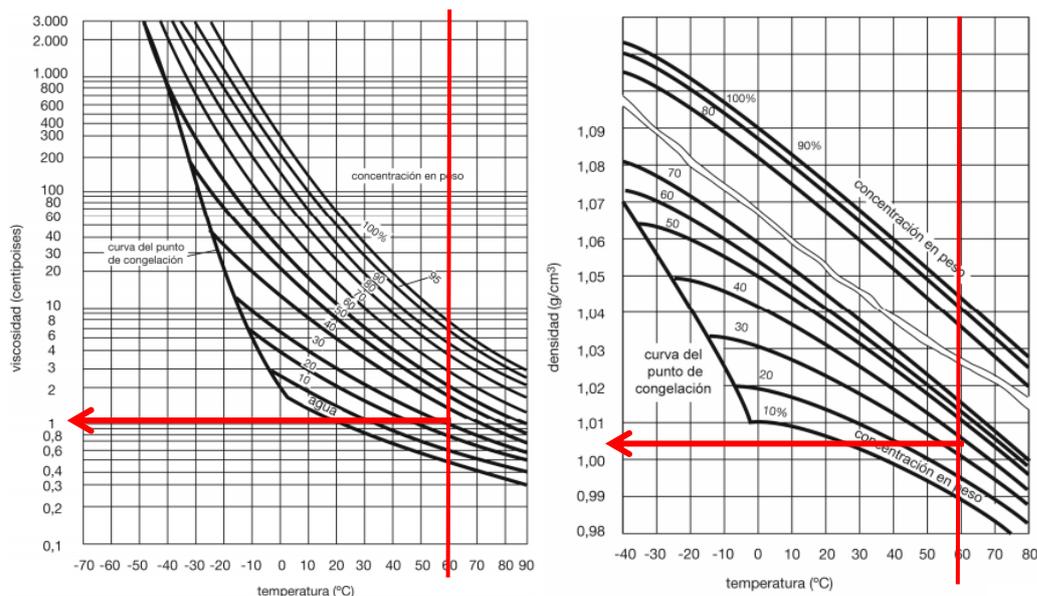


Imagen 16: Curvas características propilenglicol. IZQ.: Viscosidad de una disolución de propilenglicol, en función de la temperatura. DRCHA: Densidad de una disolución de propilenglicol, en función de la temperatura [24]

6.4.3. Tuberías

El dimensionado de las tuberías se realizará partiendo del fluido caloportador elegido anteriormente, de los captadores elegidos y de la normativa CTE DB HE [4] sección 4 e IDAE [23] que nos expondrá las características límites que tendremos que cumplir en el dimensionado de la instalación del circuito solar.

Consideraremos que el diámetro de todas las tuberías de este circuito de energía solar son iguales ya que el caudal que circulará a través de él será constante. La composición del circuito estará compuesto por tubos de cobre con una rugosidad de 0.0015 mm (ϵ) y longitud de todo el circuito primario de 32 m.

Para el cálculo del diámetro de las tuberías lo primero que tendremos que considerar es un valor de pérdidas de carga máximo y una velocidad de circulación del fluido dentro del conducto. En el caso las pérdidas de carga unitarias consideraremos que no superaran el valor de 40 mm de columna de agua por metro lineal en ningún tramo de la instalación.

En cuanto a la velocidad del fluido, como nos dice la normativa, la velocidad máxima admisible sea de 2 m/s para estancias no habitables mientras que para nuestro sistema, tomaremos la velocidad constante de 0.5 m/s.

Una vez dicho esto, plantearemos la resolución de nuestro problema a partir de las ecuaciones de la mecánica de fluidos mostradas anteriormente y expuestas en las ecuaciones 20, 21 y 22 y utilizando como diagrama de apoyo para los cálculos mediante Moody de la imagen 8.

Consideraremos inicialmente para estos cálculos un diámetro interior de tubería de 14 mm e iremos verificando si con estas suposiciones, podemos llegar a cumplir con las exigencias que se nos impone. Si no fuese el caso, volveremos hacia atrás a recalcular los valores.

Una vez hecha esta consideración, comenzaremos aplicando la ecuación 21 para calcular el Reynolds y la relación de las características del conducto, ecuación 22:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = 5.025 \cdot 10^3 \quad \text{Ec.21}$$

$$\frac{\epsilon}{d} = 0.000107 \quad \text{Ec.22}$$

Yendo al diagrama de Moody calculamos que el factor f es 0.038.

Una vez calculado esto, aplicaremos la ecuación 20 para verificar si con esta configuración cumplimos las exigencias de pérdidas de carga que se extraen del IDEA [15].

$$h_f = 0.034 \text{ mca} < 0.04 \text{ mca} \rightarrow \text{CUMPLE} \quad \text{Ec.20}$$

Calculando el caudal para conductos circulares:

$$M = \frac{v\pi d^2}{4} = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 277.09 \text{ l/h} \quad \text{Ec.23}$$

A la vista de que con las suposiciones iniciales conseguimos satisfacer las limitaciones de la normativa, nuestro circuito quedará dimensionado con dichos parámetros.

6.3.3. Bomba centrífuga

En el cálculo de la bomba centrífuga de la instalación de solar, necesitaremos tener en cuenta, que debemos diseñar nuestra bomba para conseguir impulsar el fluido desde los captadores hasta el acumulador de agua.

A la hora de realizar los cálculos, nos apoyaremos en las ecuaciones planteadas anteriormente de la mecánica de fluidos con las que hemos calculado en apartados anteriores la bomba centrífuga de calefacción y las recomendaciones dadas en el IDAE para la selección de equipos de transporte de fluidos [15]. Bajo estas consignas y referenciándonos al esquema de la imagen 17 de esta instalación, utilizaremos la ecuación 26 considerando un suplemento en las pérdidas ocurridas en los elementos singulares (codos, bifurcaciones, etc.) de la red de tuberías de un 30%.



Imagen 17: Esquema de la red de solar para el punto máximo de trabajo.

Aplicando a mayores la recomendación del IDAE para instalaciones donde el circuito sea cerrado, el término de variación de alturas se puede despreciar, planteamos su cálculo:

Caudal (l/h)	Caudal (l/s)	Longitud (m)	d (m)	v (m/s)	Re	ϵ/d	f	Hp/m	Hp
323	0,0897	16,5	0,014	0,5828	17178	1,07E-04	0,018	22,28	367,69
Pérdidas otros elementos (+30%) (mmca)									110,31
Total (mmca)									478,0

Tabla 67: Cálculo pérdidas de la instalación solar

Teniendo en cuenta que el circuito es de ida y vuelta, las pérdidas totales serán el doble de las obtenidas anteriormente. Por consiguiente, los valores en las condiciones más adversas, la bomba deberá proporcionar un caudal de 323 l/h y una altura de 478 mmca.

Representando la curva característica según el procedimiento del IDAE:

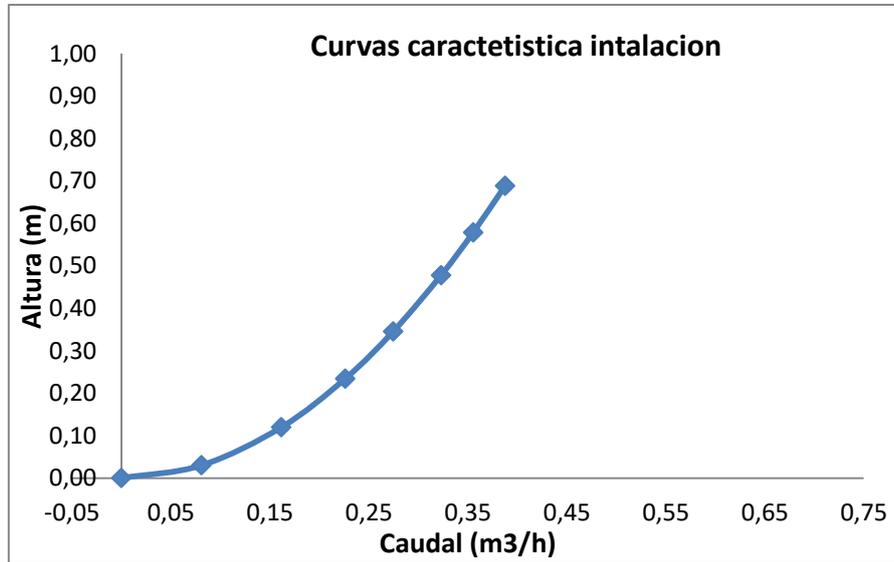


Imagen 18: Curva característica instalación de solar

Partiendo de la curva anterior y a través de los catálogos de los fabricantes de bombas las curvas quedan de la siguiente manera. Bomba elegida, BAXI SB-5Y [22].

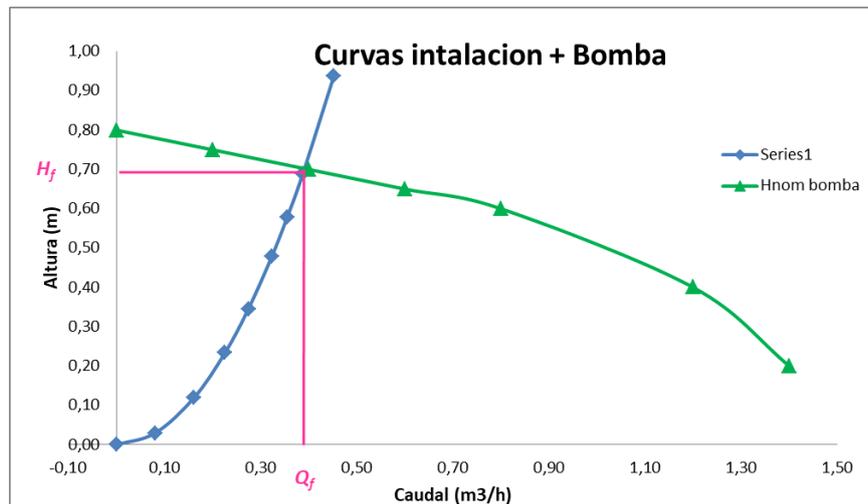


Imagen 19: Curva característica instalación de calefacción y de la bomba comercial

Por consiguiente, de esta imagen 19 se puede sacar en conclusión que las condiciones óptimas de funcionamiento de la bomba será para:

$$\begin{cases} \text{Caudal} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Altura} = 0,68 \text{ m} \end{cases}$$

6.3. Dimensionado de los captadores solares

Como se comentó en el apartado 6.1, para el tipo de nuestra vivienda, necesitaremos cubrir al menos un 60% de la demanda de ACS con energía proveniente de sistemas renovables. Aunque la normativa nos marca los anteriores requerimientos, nosotros en nuestro trabajo pondremos el objetivo en, además de cubrir el 60% de la demanda de ACS, intentar cubrir parte de los requerimientos de calefacción a través de las energías renovables.

Para conocer el número de captadores que necesitamos para cumplir con nuestras premisas utilizaremos el programa CHEQ4 [25]. En él deberemos introducir el municipio, el tipo de captador utilizado y las características vistas anteriormente en el apartado 6.2 del circuito (pérdidas y características del circuito). Con todo esto veremos la necesidad de captadores en el apartado 'resultados' y si cumple o no las especificaciones establecidas en el CTE DB HE [4] sección 4.

Con los datos anteriores, se ha visto la necesidad de contar con **tres captadores** para cubrir la demanda. Ahora bien, necesitamos elegir la configuración de dichos captadores, es decir, si la instalación de ellos se hace en paralelo o en serie.

Si colocamos los captadores en serie, el porcentaje de fracción solar que conseguimos cubrir con el sistema de energía solar es del 82 % mientras que en paralelo llegamos hasta el 87% como se puede observar en las imágenes 20 y 21. Por este porcentaje, se ha decidido colocar los captadores en paralelo, debido a que conseguimos una mayor cobertura.

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
82	2.896	2.902	2.374	558	529

Figura 20: Demanda térmica con dos captadores en serie. CHEQ4 [25]

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
87	2.896	2.902	2.517	408	563

Figura 21:: Demanda térmica con dos captadores en paralelo. CHEQ4 [25]

Una vez obtenido el cumplimiento a partir del CHEQ4, podemos decir que además de cumplir con la premisa de la fracción solar mínima, estamos cumpliendo con la condición de la ecuación 28 que nos relaciona el volumen del acumulador con el área de los captadores. Donde la relación obtenida sería de 66.96.

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Ec.28

7. Bibliografía

- [1] *Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Ahorro y eficiencia energética en climatización. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España. Junio 2010.
- [2] Catálogo de elementos constructivos del CTE. Código técnico de la edificación. Ministerio de vivienda. Gobierno de España. Mayo 2008.
- [3] Dirección general del Catastro. Ministerio de hacienda. Gobierno de España
- [4] *CTE DB HE*. Documento básico HE, Ahorro de Energía. 20 diciembre 2020
- [5] *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE)*, Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y sus instrucciones técnicas IT.
- [6] *Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)*. Código técnico de la edificación. Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, Gobierno de España. 2020.
- [7] *UNE-EN ISO 6946:2012* Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. International Standard.
- [8] *UNE-EN ISO 10077-1:2010/2012* Thermal performance of Windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General and Part 2: Numerical method for frames
- [9] *DA DB-HE/1*. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Enero 2020.
- [10] *CTE DB HS*. Documento básico HS, Salubridad. Junio 2017
- [11] *UNE-EN 12831-1:2019*. Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño. Parte 1: Carga térmica de los locales. Módulo M3-3.
- [12] *UNE-EN ISO 13789:2017*. Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo. (ISO 13789:2017). (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en diciembre de 2017.)
- [13] *UNE 94002:2005*. Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica
- [14] *Catalogo radiadores de aluminio XIAN N. Ferroli*. 2020.

- [15] *Guía técnica: Instalaciones de calefacción individual*. Ahorro y eficiencia energética en climatización. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. 2012.
- [16] UNE-EN 442:2015. Radiadores y convectores. Parte 1: Especificaciones y requisitos técnicos.
- [17] Esquema Instalaciones Termosolares para la Producción de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.). Blog ingemecanica. Tutorial nº 188. 2010.
- [18] *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Instalaciones de energía solar térmica*. IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía. Enero 2009.
- [19] Apuntes Ingeniería Fluidomecánica. Departamento de ingeniería energética y fluidomecánica. Escuela de ingenierías industriales. Universidad de Valladolid. Año 2012
- [20] *UNE-EN ISO 1057*. Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción. 2007.
- [21] *Guía técnica: Selección de equipos de transporte de fluidos*. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. 2012.
- [22] Catálogo comercial BAXI, la nueva climatización. 2018.
- [23] *Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Ahorro y eficiencia energética en climatización. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. 2010.
- [24] *Ábacos de etilenglicol y propilenglicol*. Blog: certificación energética.info. Unidad didáctica 3, el colector solar. 2015.
- [25] *CHEQ4. Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas*. Ministerio de industria, trabajo y comercio. Gobierno de España. 2020.

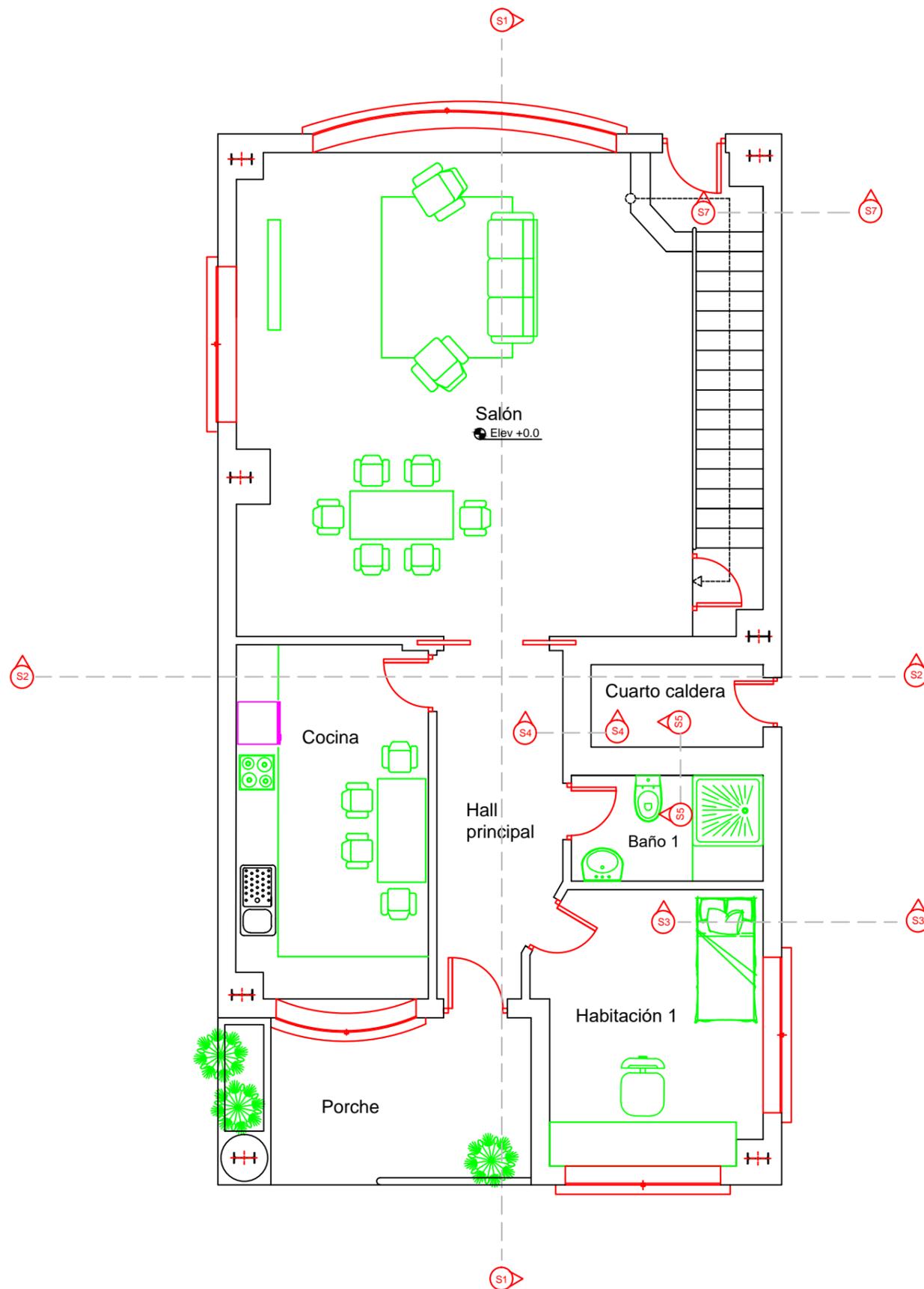
ANEXO PLANOS

Índice Planos

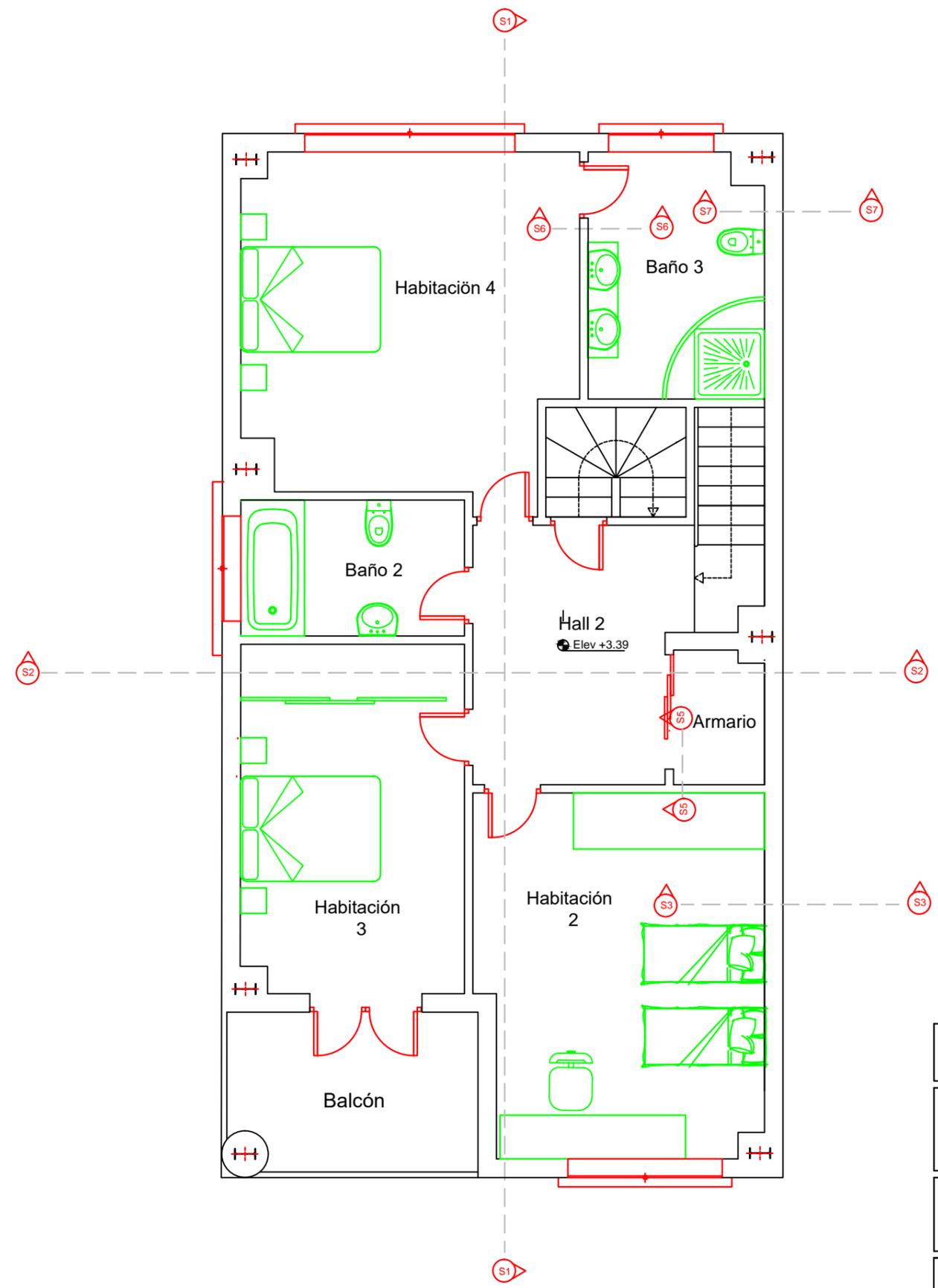
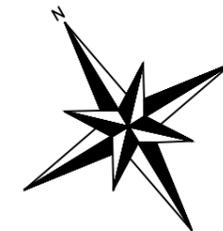
1.	Distribución planta baja
2.	Distribución primera planta
3.	Distribución ático
4.	Cubierta
5.	Alzados 1
6.	Alzados 2
7.	Secciones
8.	Detalles constructivos
9.	Plano cota planta baja
10.	Plano cota primera planta
11.	Plano cota ático
12.	Calefacción planta baja
13.	Calefacción primera planta
14.	Calefacción ático
15.	Instalación solar planta baja
16.	Instalación solar primera planta
17.	Instalación solar ático
18.	Fontanería planta baja
19.	Fontanería primera planta
20.	Esquema elementos constructivos planta baja
21.	Esquema elementos constructivos primera planta
22.	Esquema elementos constructivos ático
23.	Esquema instalación energía solar + caldera convencional
24.	Esquema instalación energía solar + caldera de condensación
25.	Esquema instalación energía solar + bomba de calor
26.	Esquema instalación bomba de calor

- 1. Distribución planta baja**
- 2. Distribución primera planta**
- 3. Distribución ático**
- 4. Cubierta**
- 5. Alzados 1**
- 6. Alzados 2**
- 7. Secciones**
- 8. Detalles constructivos**
- 9. Plano cota planta baja**
- 10. Plano cota primera planta**
- 11. Plano cota ático**
- 12. Calefacción planta baja**
- 13. Calefacción primera planta**
- 14. Calefacción ático**
- 15. Instalación solar planta baja**
- 16. Instalación solar primera planta**

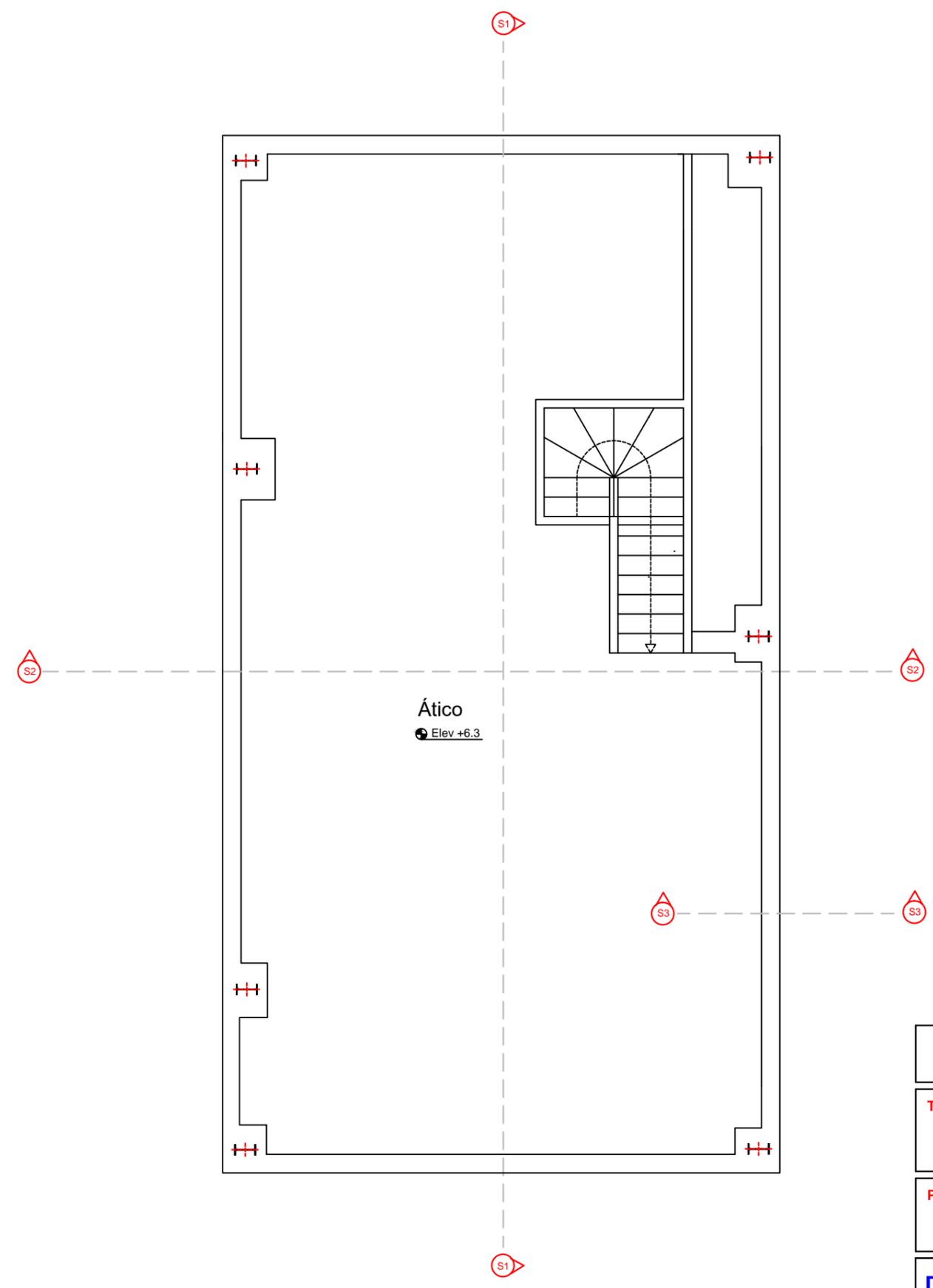
- 17. Instalación solar ático**
- 18. Fontanería planta baja**
- 19. Fontanería primera planta**
- 20. Esquema elementos constructivos planta baja**
- 21. Esquema elementos constructivos primera planta**
- 22. Esquema elementos constructivos ático**
- 23. Esquema instalación energía solar + caldera convencional**
- 24. Esquema instalación energía solar + caldera de condensación**
- 25. Esquema instalación energía solar + bomba de calor**
- 26. Esquema instalación bomba de calor**



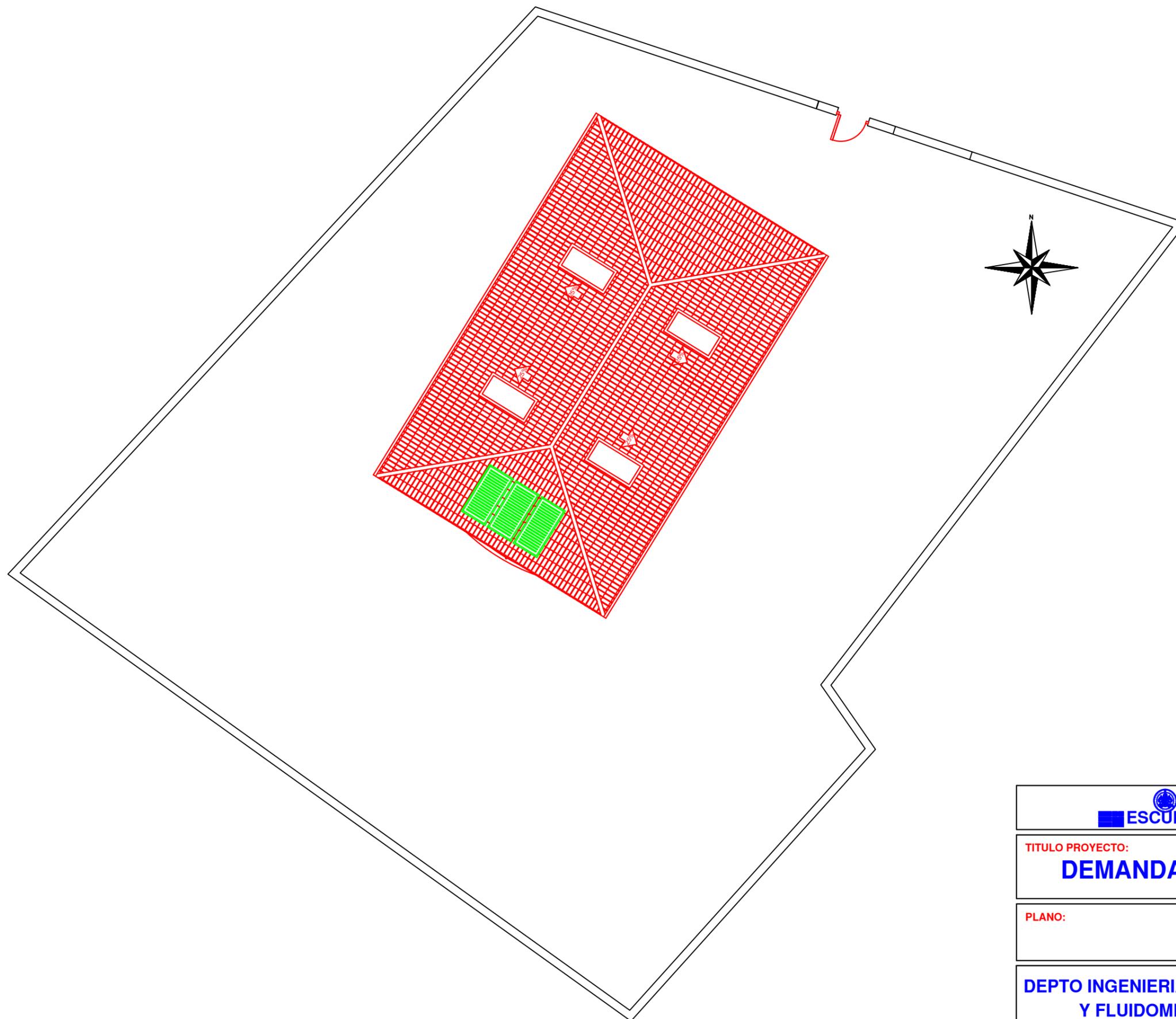
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TITULO PROYECTO: DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR		
PLANO: DISTRIBUCCION PLANTA BAJA		
DEPTO INGENIERIA ENERGETICA Y FLUIDOMECANICA	FECHA: JUNIO-2020	Nº PLANO: 1
	ESCALA: 1:75	FIRMA: EL/LOS ALUMNO/S:
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL Fdo: MARTA CÁCERES NIETO	



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TITULO PROYECTO: DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR		
PLANO: DISTRIBUCCION PRIMERA PLANTA		
DEPTO INGENIERIA ENERGETICA Y FLUIDOMECANICA	FECHA: JUNIO-2020	Nº PLANO: 2
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA: 1:75	FIRMA: EL/LOS ALUMNO/S: Fdo: MARTA CÁCERES NIETO
MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL		



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TITULO PROYECTO: DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR		
PLANO: DISTRIBUCCION ATICO		
DEPTO INGENIERIA ENERGETICA Y FLUIDOMECANICA	FECHA: JUNIO-2020	Nº PLANO: 3
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	ESCALA: 1:75	FIRMA: EL/LOS ALUMNO/S:
	MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL	Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



SUPERFICIES

Superficie terreno	846 m ²
Superficie construida	125.45 m ²

 **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
CUBIERTA

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
4

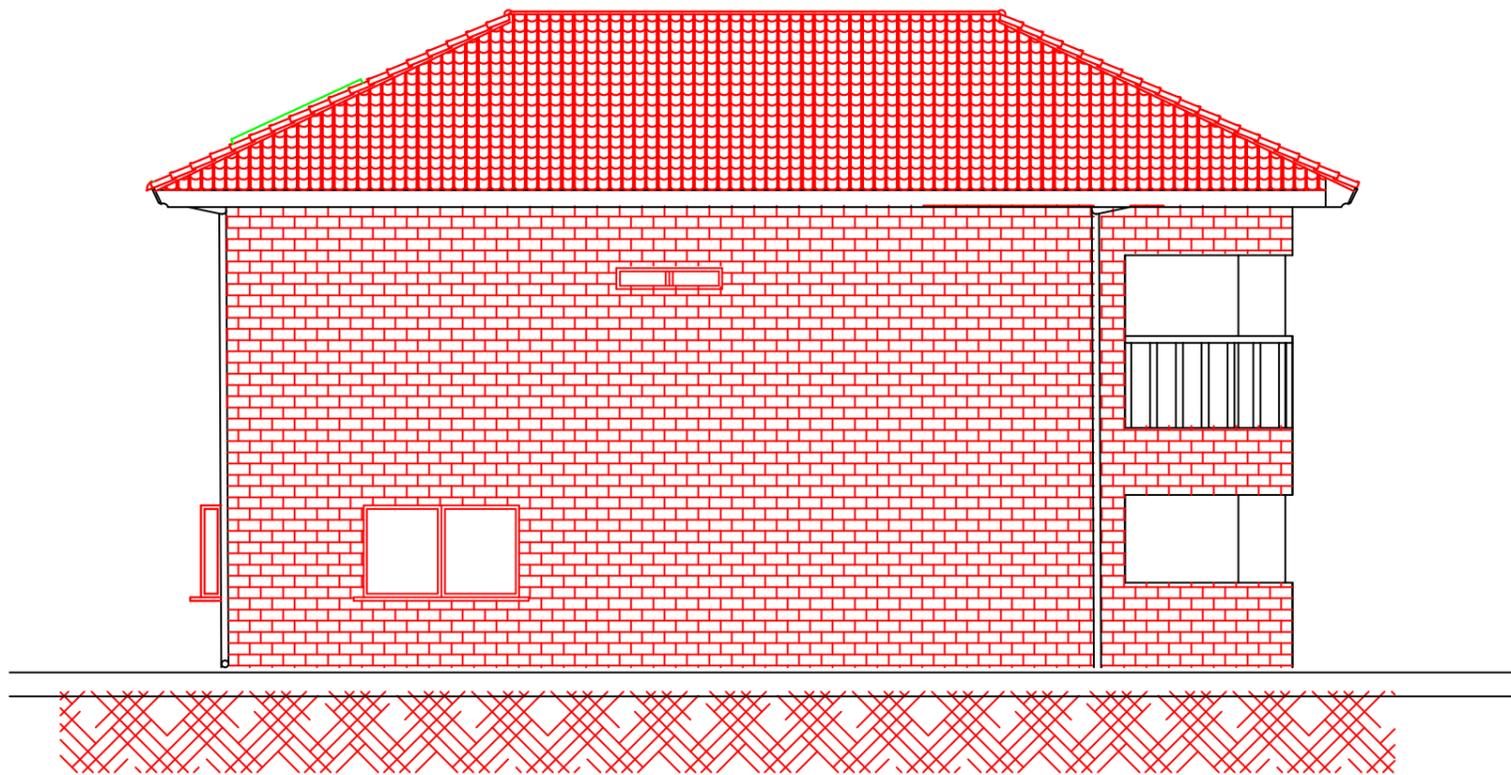
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:150

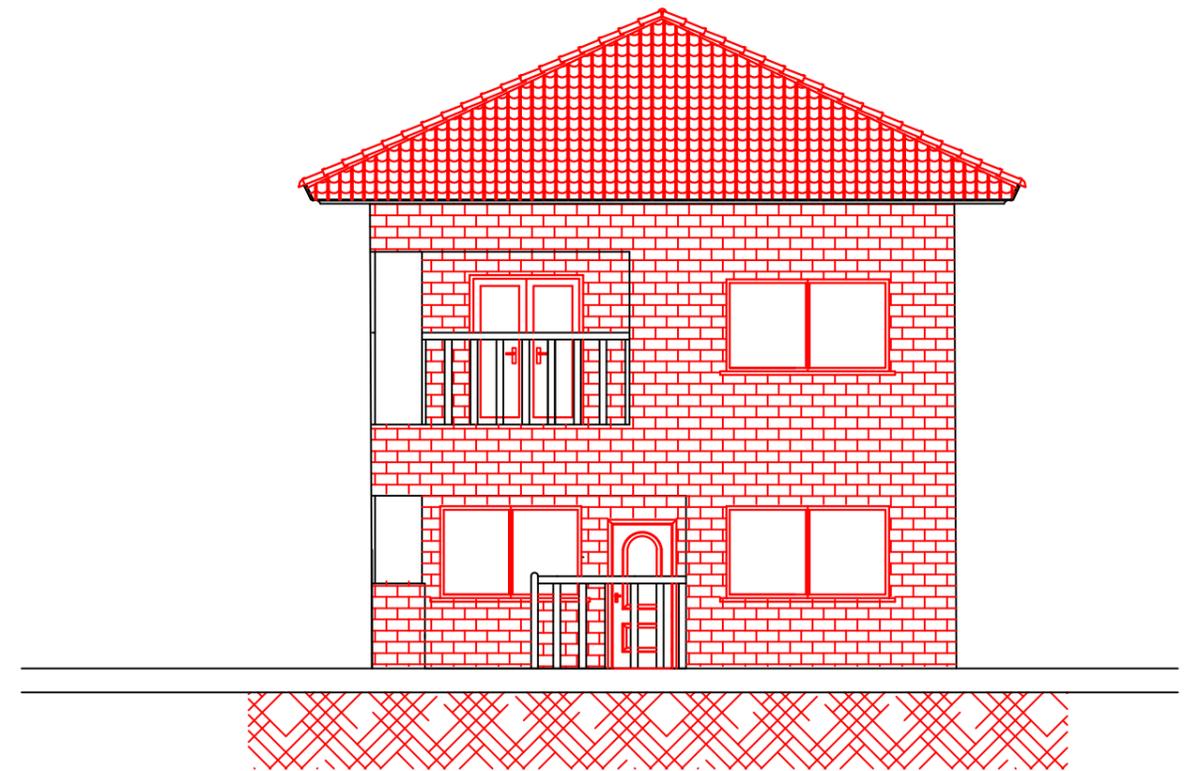
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



ALZADO SURESTE



ALZADO NORESTE


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
ALZADOS 1

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
 Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
5

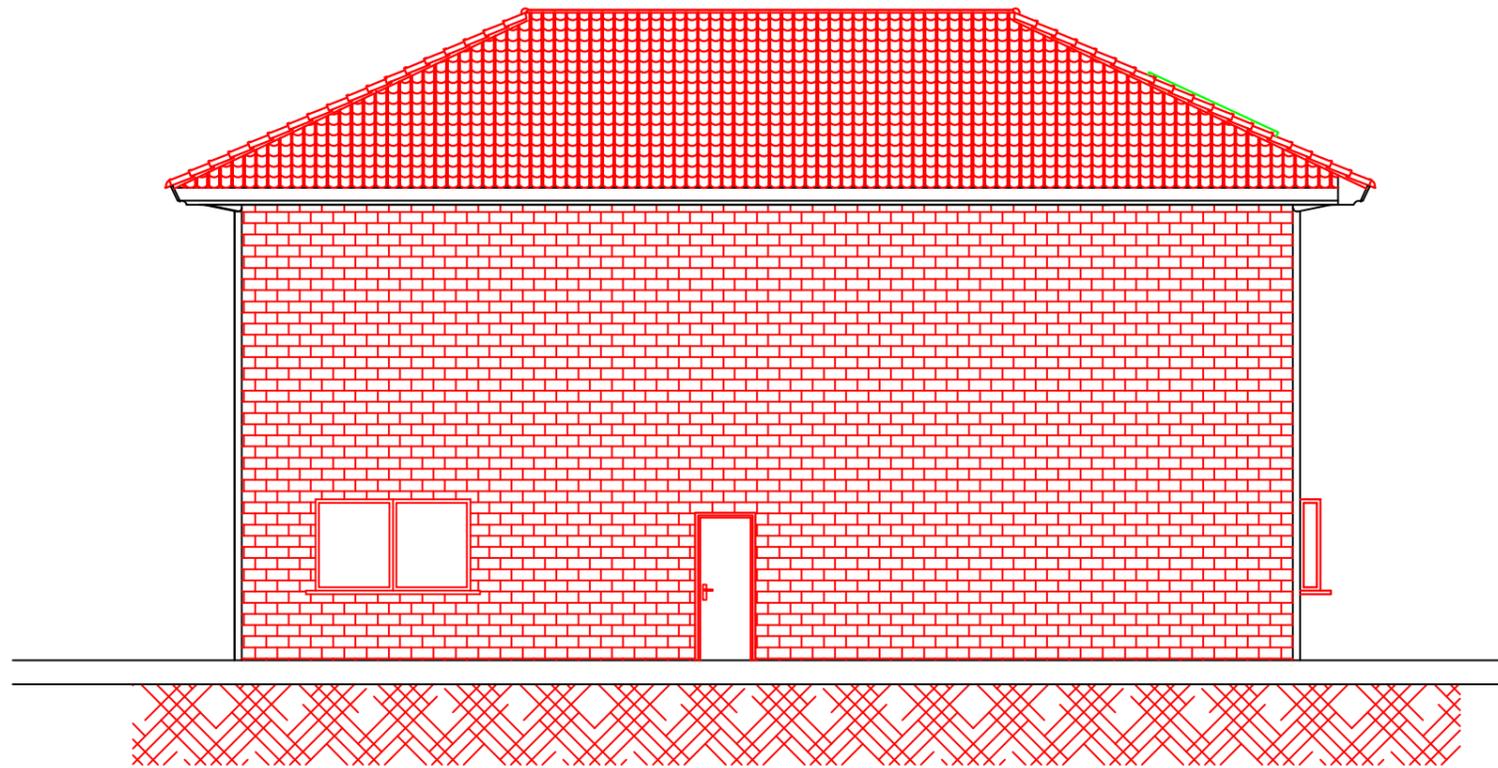
ESCALA:
1:100

FIRMA:
 EL/LOS ALUMNO/S:

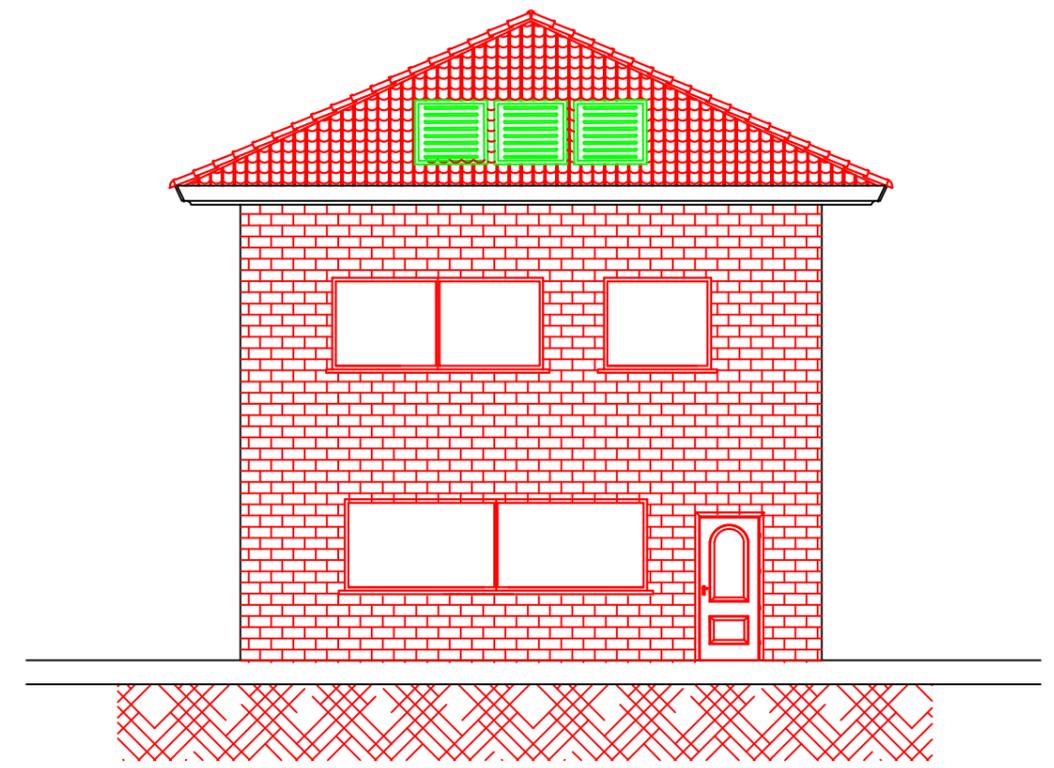
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



ALZADO NOROESTE



ALZADO SUROESTE


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
ALZADOS 2

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
 Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
6

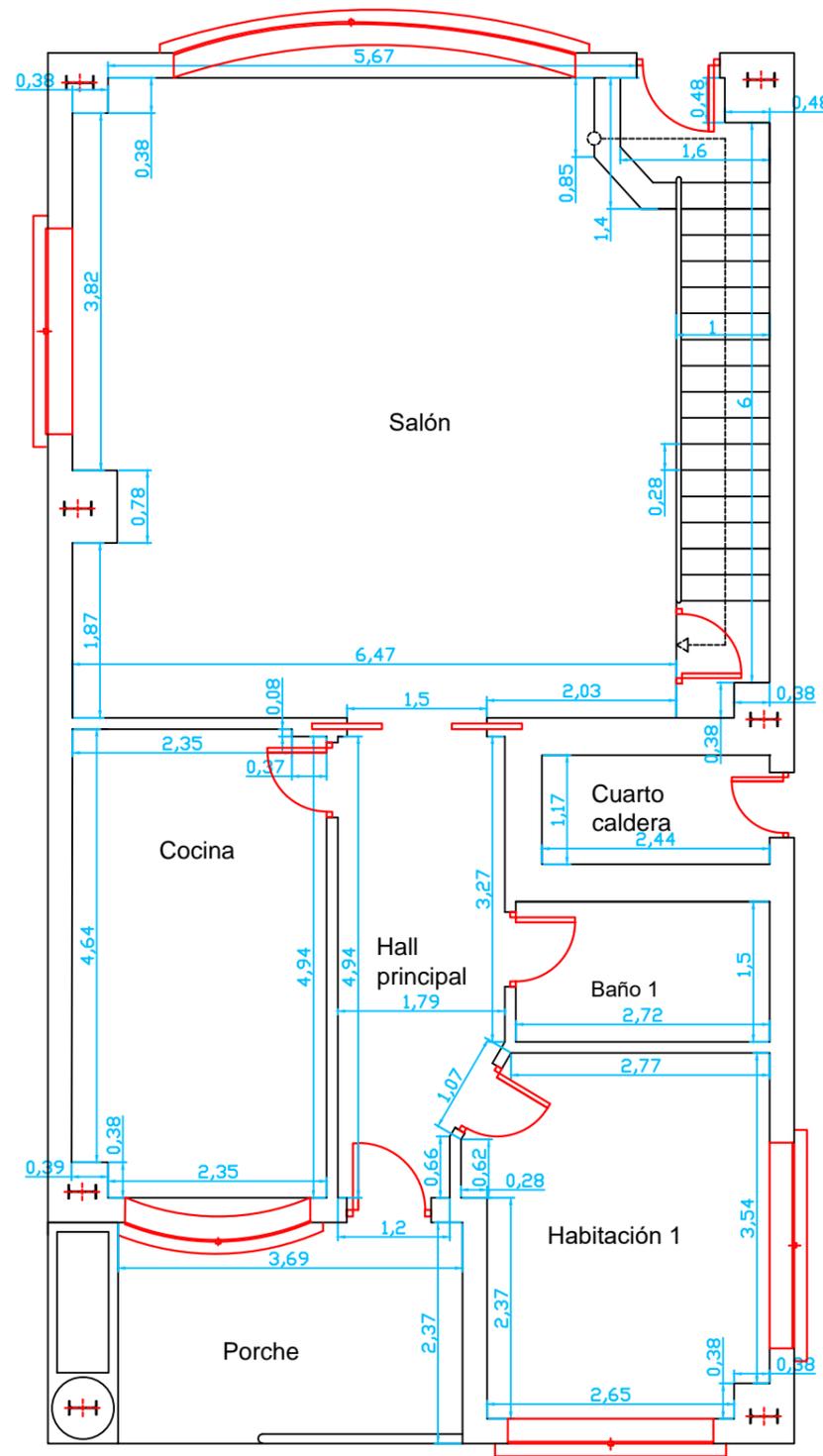
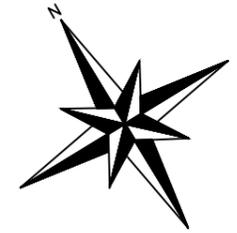
ESCALA:
1:100

FIRMA:
 EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



SUPERFICIES

Salón	44.90 m ²
Cocina	13.53 m ²
Hall principal	8.15 m ²
Habitación 1	11.90 m ²
Baño 1	4.08 m ²
Porche	8.74 m ²
Cuarto de calderas	2.86 m ²

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

PLANO COTA PLANTA BAJA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
7

ESCALA:
1:75

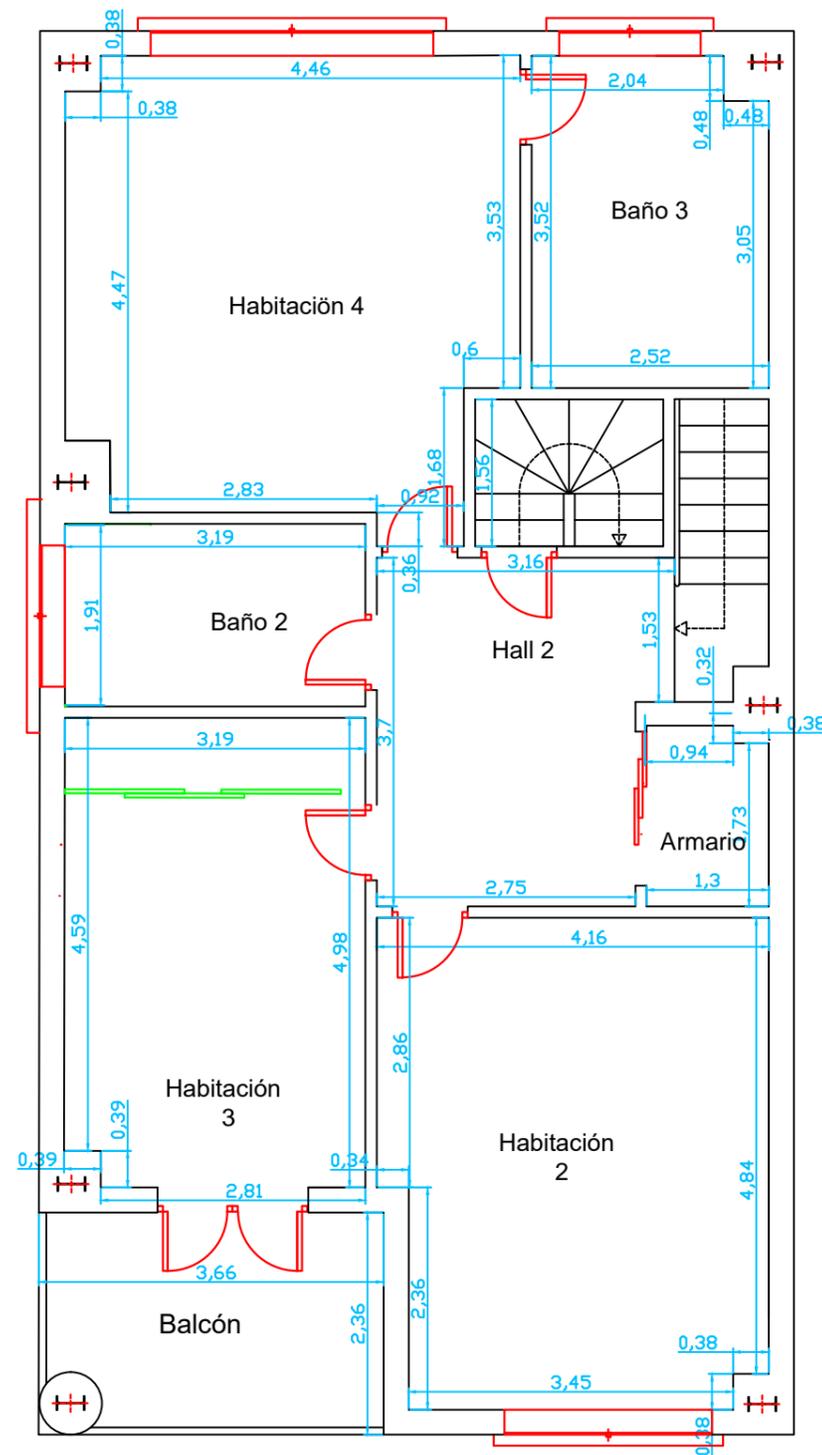
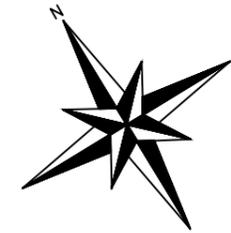
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



SUPERFICIES

Habitación 2	19.81 m ²
Habitación 3	17.46 m ²
Habitación 4	22.45 m ²
Baño 2	6.84 m ²
Baño 3	8.66 m ²
Hall 2	12.71 m ²
Armario	2.54 m ²
Balcón	8.64 m ²

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TÍTULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

PLANO COTA PRIMERA PLANTA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
8

ESCALA:
1:75

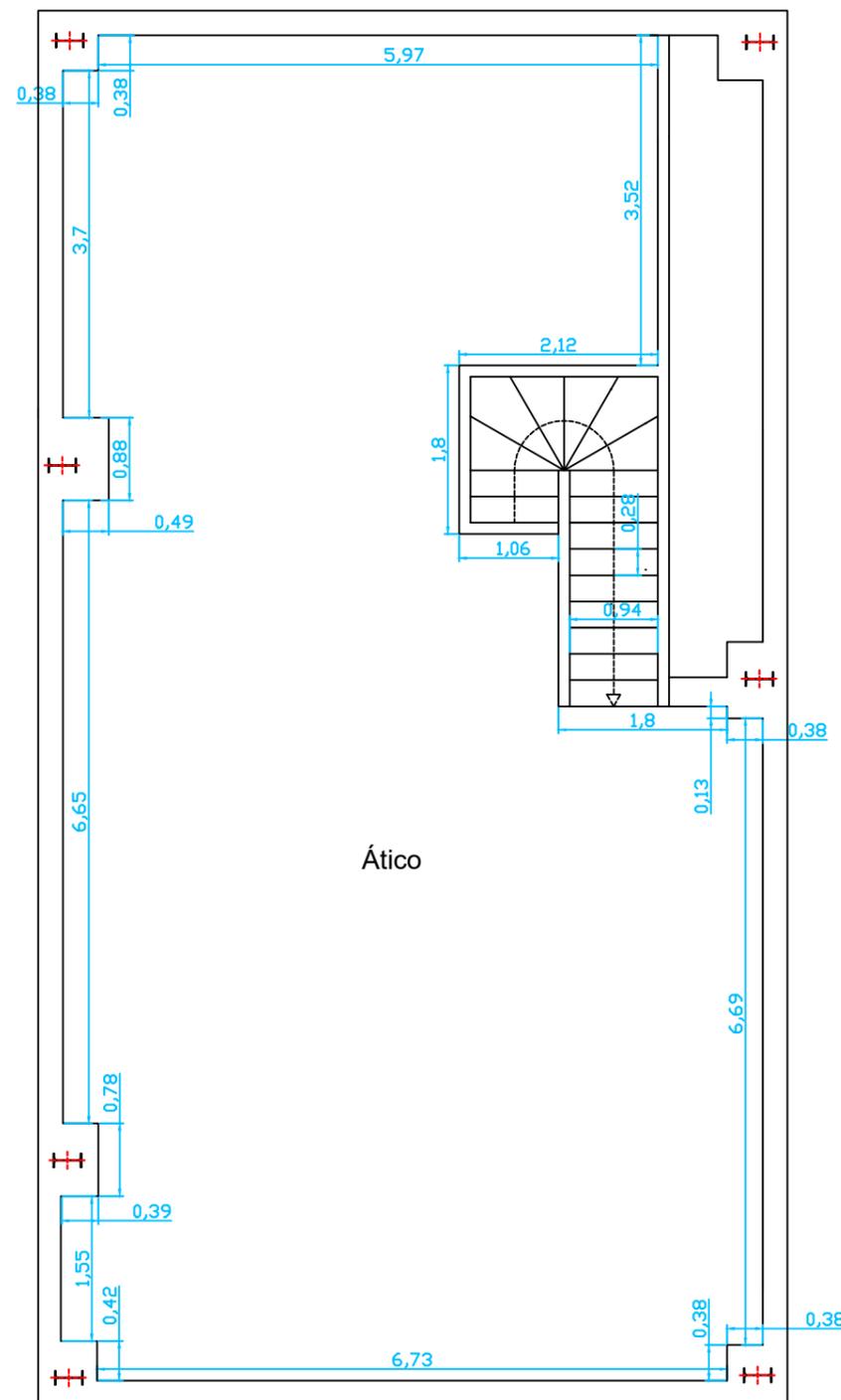
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



SUPERFICIES

Atico	92.45 m ²
-------	----------------------

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
PLANO COTA ATICO

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
9

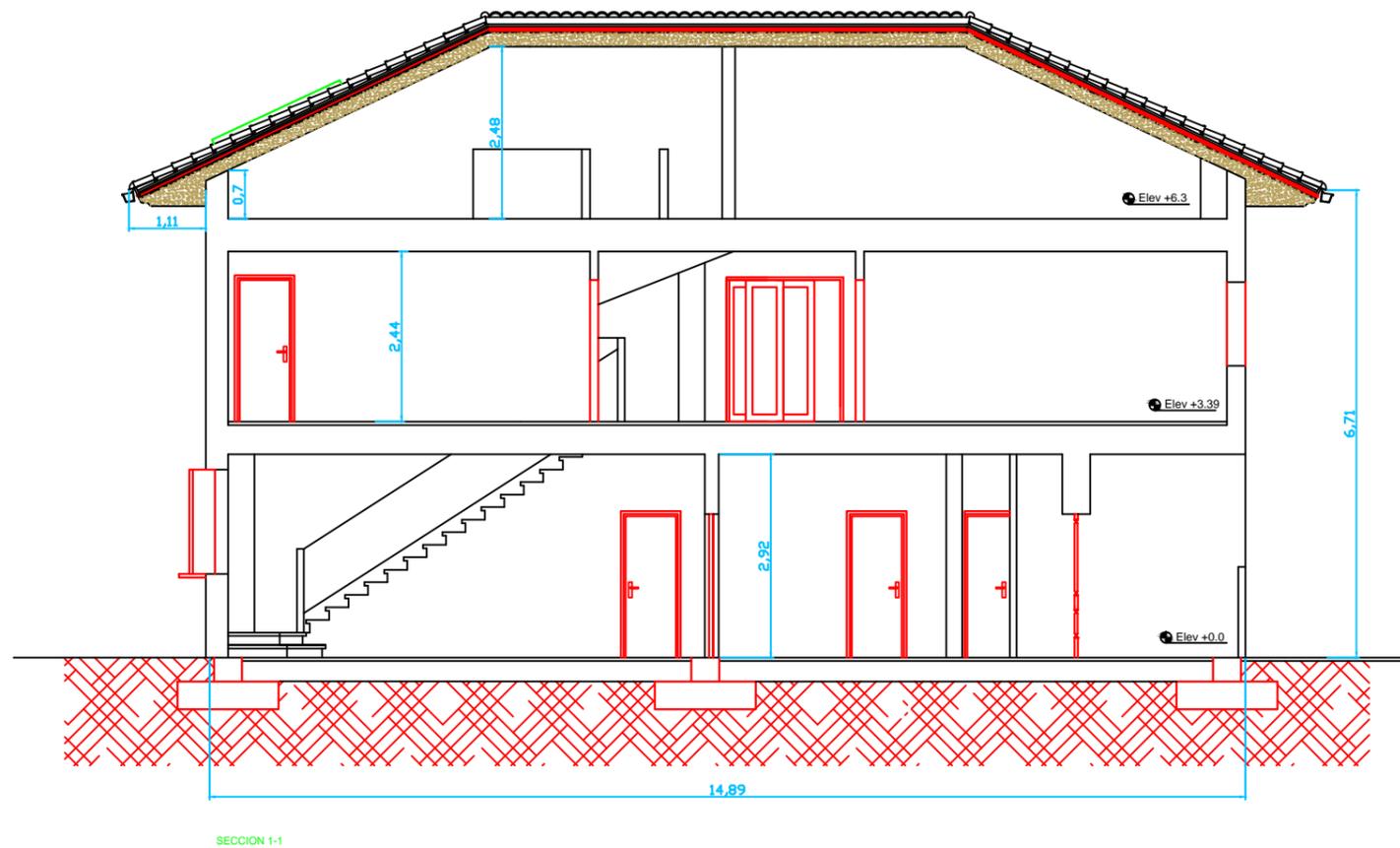
ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

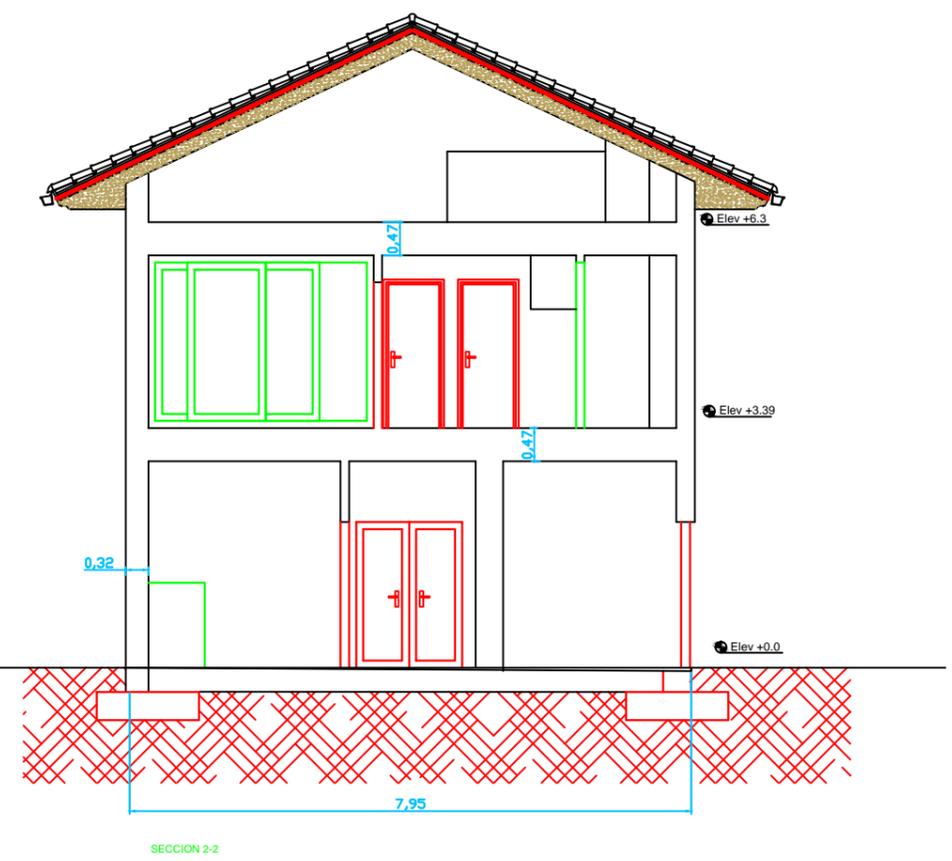
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



SECCION 1-1



SECCION 2-2

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
SECCIONES

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
10

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:100

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO

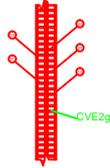


DETALLE DE VENTANA
(SEC. VERTICAL)



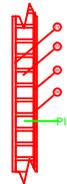
DETALLE DE VENTANA
(SEC. HORIZONTAL)

SECCION 4-4



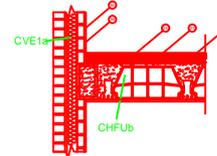
CERRAMIENTO VERTICAL
EXTERIOR 2 GENERAL
Cuarto de calderas

SECCION 6-6

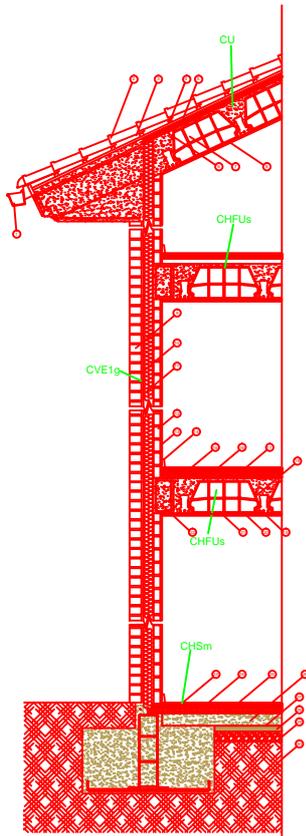


PARTICION INTERIOR
CON AZULEJOS
(escala 2:1)

SECCION 7-7



CERRAMIENTO VERTICAL EXTERIOR 1 CON AZULEJOS
FORJADO UNIDIRECCIONAL CON BALDOSA

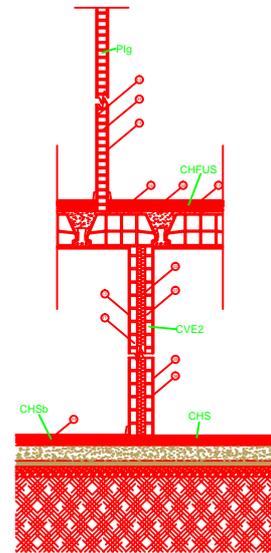


CERRAMIENTO VERTICAL EXTERIOR GENERAL
CERRAMIENTO HORIZONTAL EN CONTACTO CON EL TERRENO GENERAL
CERRAMIENTO HORIZONTAL (FORJADO UNIDIRECCIONAL) GENERAL
SECCION 3-3

DETALLE DE FACHADA

LEYENDA

- 1.- CANALON AGUAS PLUVIALES
- 2.- TEJAS CERAMICAS.
- 3.- CAMARA DE AIRE (10 CM)
- 4.- RASTRELES DE METAL (1.4 CM)
- 5.- CAPA IMPERMEABILIZADORA, PVC (1 MM)
- 6.- AISLANTE TERMICO, POLIESTIRENO EXPANDIDO (8 CM)
- 7.- FORJADO CON PIEZAS DE ENTREVIGADO CERAMICO (35 CM)
- 8.- ENLUCIDO DE YESO (1.5 CM)
- 9.- LADRILLO CARAVISTA (11.5 CM)
- 10.- CAMARA DE AIRE SIN VENTILAR (2 CM)
- 11.- AISLANTE TERMICO, XPS con HFC (10 CM)
- 12.- LADRILLO HUECO DOBLE (7 CM)
- 13.- ENLUCIDO DE YESO (1.5 CM)
- 14.- RODAPIE
- 15.- 41- MORTERO DE CEMENTO (5 CM)
- 16.- 42- SUELO, PANEL DE MADERA (1 CM)
- 17.- AISLANTE DE RUIDO, POLIESTIRENO EXPANDIDO (4 CM)
- 18.- BOVEDILLA CERAMICA
- 19.- SEMIVIGUETA DE HORMIGON PRETENSADO
- 20.- AISLANTE ACUSTICO, LANA MINERAL (1 CM)
- 21.- ENLUCIDO DE YESO (1.5 CM)
- 22.- ZUNCHO PERIMETRAL DE FORJADO
- 23.- PANEL DE MADERA (1 CM)
- 24.- MORTERO DE CEMENTO (1.5 CM)
- 25.- AISLANTE DE RUIDO, POLIESTIRENO EXPANDIDO (10 CM)
- 26.- HORMIGON ARMADO (10 CM)
- 27.- LAMINA IMPERMEABILIZADORA, PVC (1.2 MM)
- 28.- HORMIGON DE LIMPIEZA (6 CM)
- 29.- ENCACHADO DE GRAVA
- 30.- TERRENO ARCILLOSO
- 31.- LADRILLO HUECO DOBLE GF (7 CM)
- 32.- AISLANTE TERMICO, XPS con HFC (3 CM)
- 33.- LADRILLO HUECO DOBLE GF (9 CM)
- 34.- BALDOSA CERAMICA (1 CM)
- 35.- MORTERO DE CEMENTO (0.5 CM)
- 36.- AZULEJO CERAMICO (1 CM)
- 37.- DINTEL
- 38.- CAPIALZADO
- 39.- PERSIANA
- 40.- VIDRIO BAJA EMISIVIDAD (4-12-4)
- 41.- CARPINTERIA DE PVC
- 42.- ALFEIZAR



CERRAMIENTO VERTICAL EXTERIOR 2 CON AZULEJO
CERRAMIENTO HORIZONTAL EN CONTACTO CON EL TERRENO GENERAL Y SIN SUELO
CERRAMIENTO HORIZONTAL (FORJADO UNIDIRECCIONAL) GENERAL
PARTICION INTERIOR GENERAL
SECCION 5-5

TITULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

DETALLES CONSTRUCTIVOS

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
11

PROMOTOR:

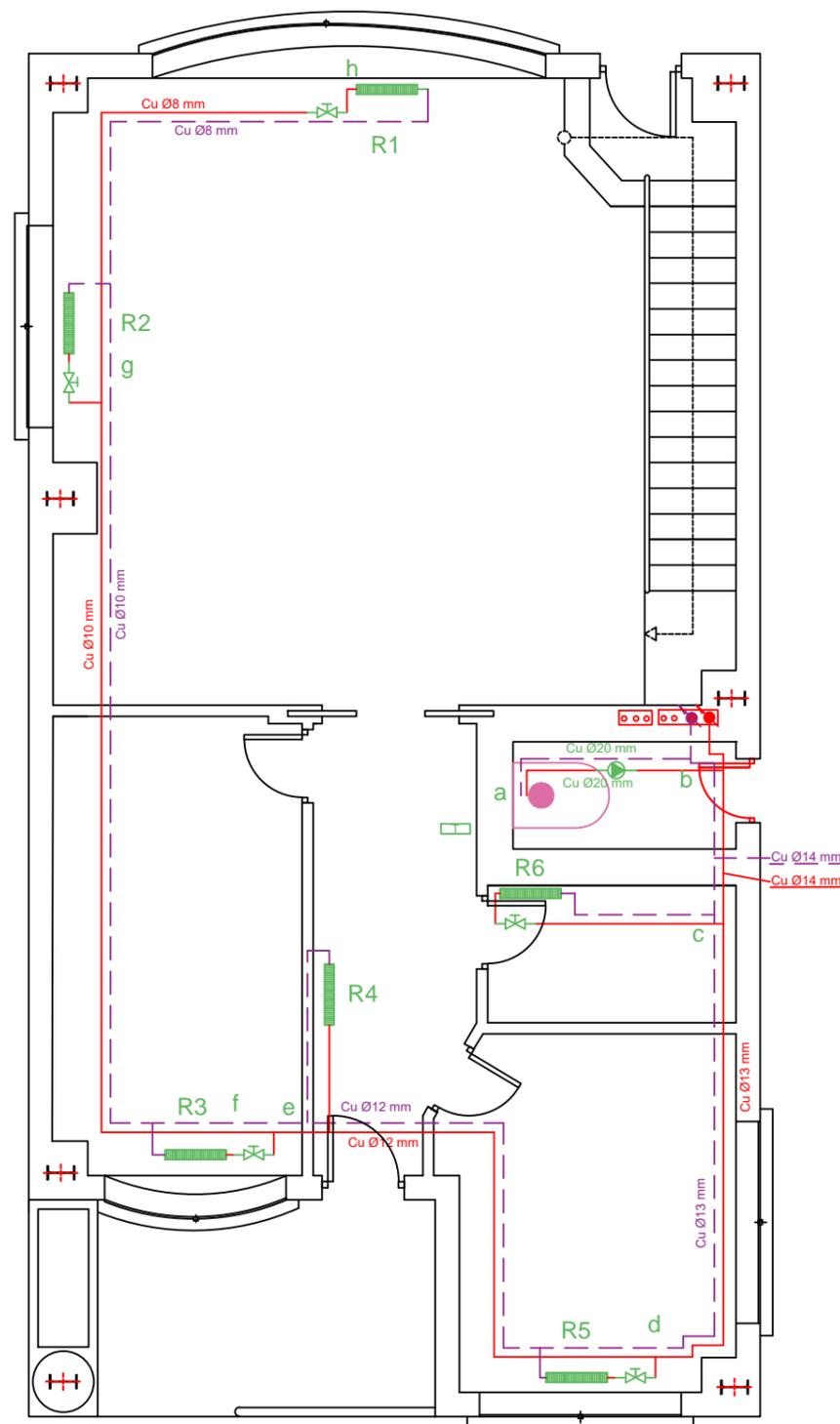
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



ESTANCIA	Denominacion	Elementos
Salón	R1	11
	R2	11
Cocina	R3	12
Hall principal	R4	3
Habitación 1	R5	12
Baño 1	R6	8

LEYENDA DE CALEFACCIÓN

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	LLAVE DE PASO TERMOSTATICA
	CIRCUITO DE IDA CALEFACCION
	CIRCUITO DE RETORNO CALEFACCION
	TERMOSTATO AMBIENTE (VERANO/INVIERNO)
	MONTANTE
	RADIADOR DE ALUMINIO
	CALDERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
CALEFACCION PLANTA BAJA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
12

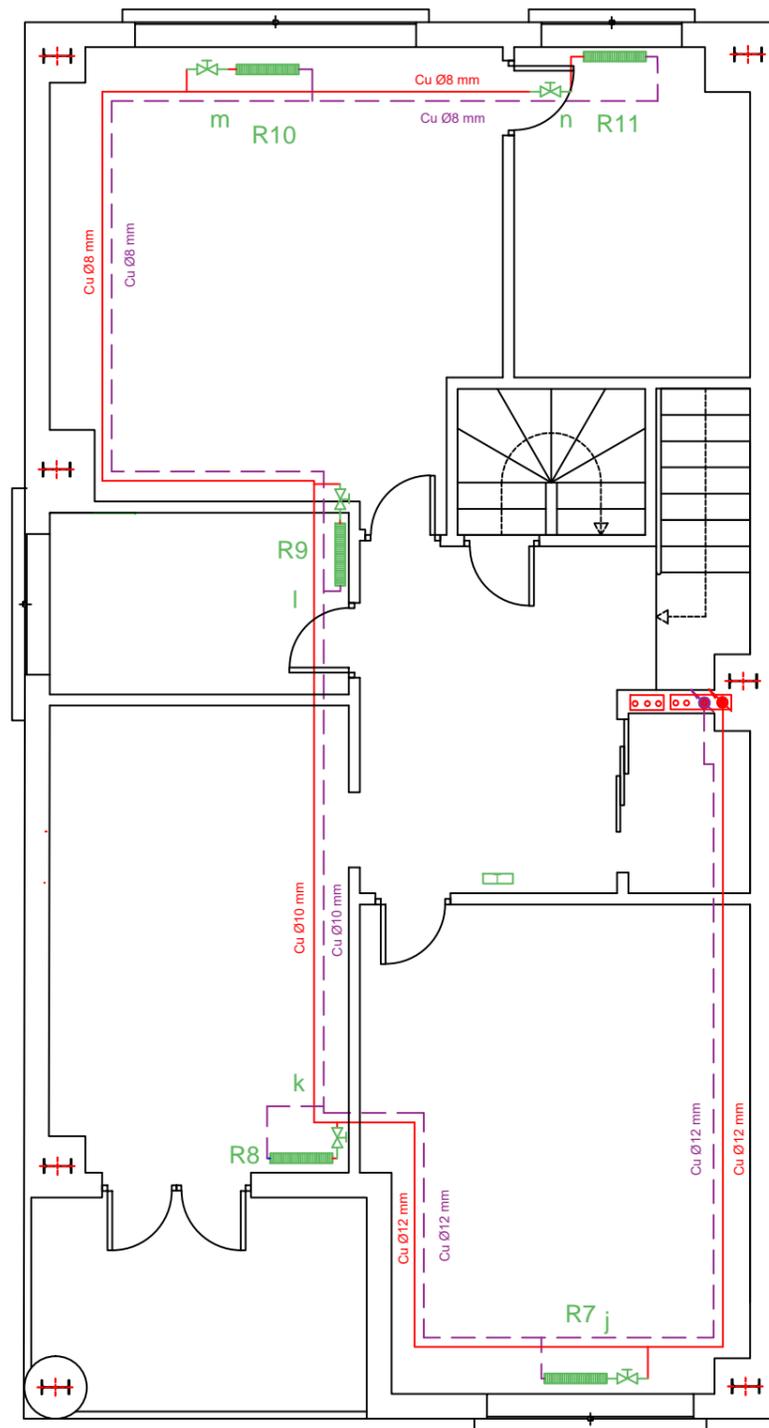
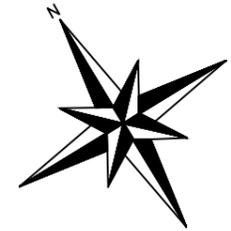
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



ESTANCIA	Denominacion	Elementos
Habitación 2	R7	10
Habitación 3	R8	9
Baño 2	R9	9
Habitacion 4	R10	11
Baño 3	R11	9

LEYENDA DE CALEFACCIÓN

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	LLAVE DE PASO TERMOSTATICA
	CIRCUITO DE IDA CALEFACCION
	CIRCUITO DE RETORNO CALEFACCION
	TERMOSTATO AMBIENTE (VERANO/INVIERNO)
	MONTANTE
	RADIADOR DE ALUMINIO
	CALDERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
CALEFACION PRIMERA PLANTA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
13

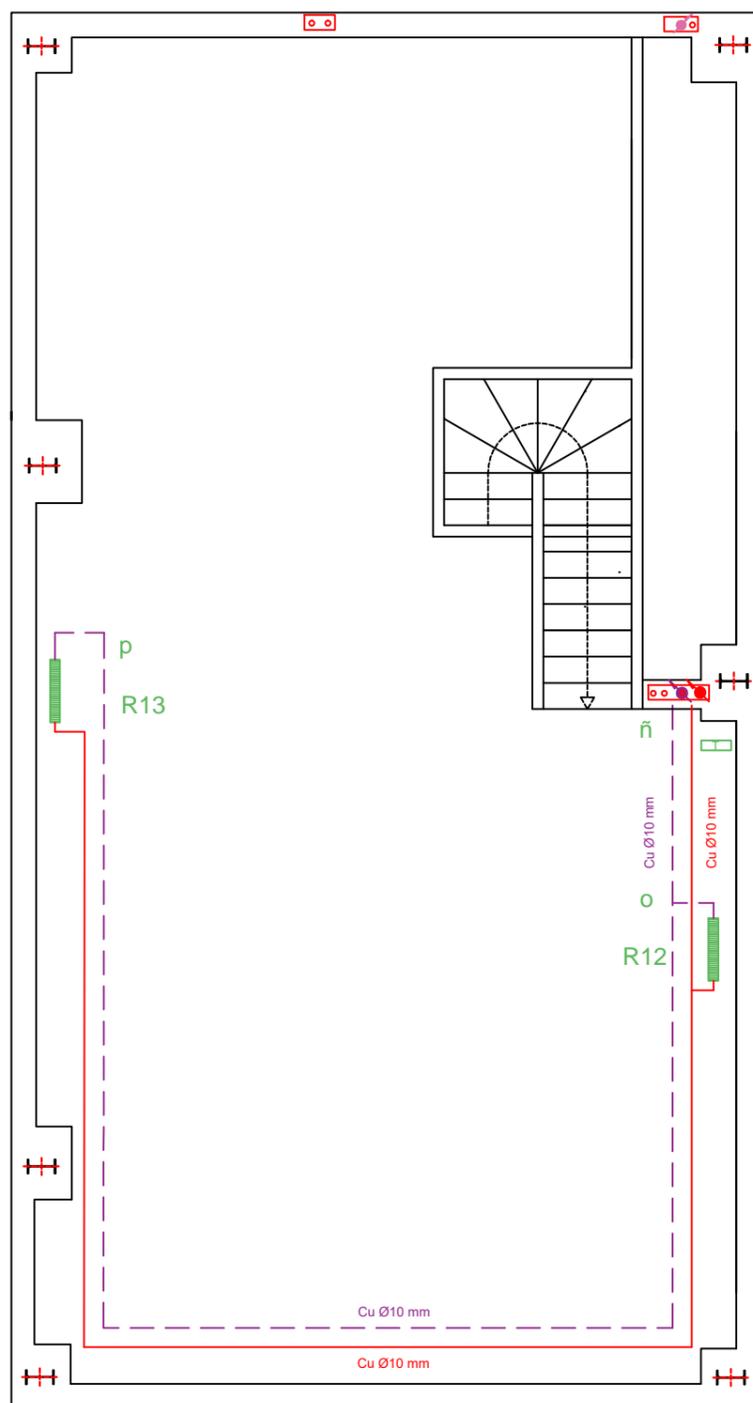
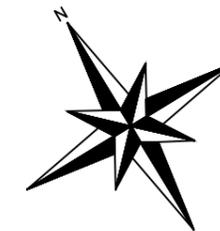
ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



ESTANCIA	Denominacion	Elementos
Ático	R12	12
	R13	12

LEYENDA DE CALEFACCIÓN

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	LLAVE DE PASO TERMOSTATICA
	CIRCUITO DE IDA CALEFACCION
	CIRCUITO DE RETORNO CALEFACCION
	TERMOSTATO AMBIENTE (VERANO/INVIERNO)
	MONTANTE
	RADIADOR DE ALUMINIO
	CALDERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

CALEFACCION ATICO

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
14

PROMOTOR:

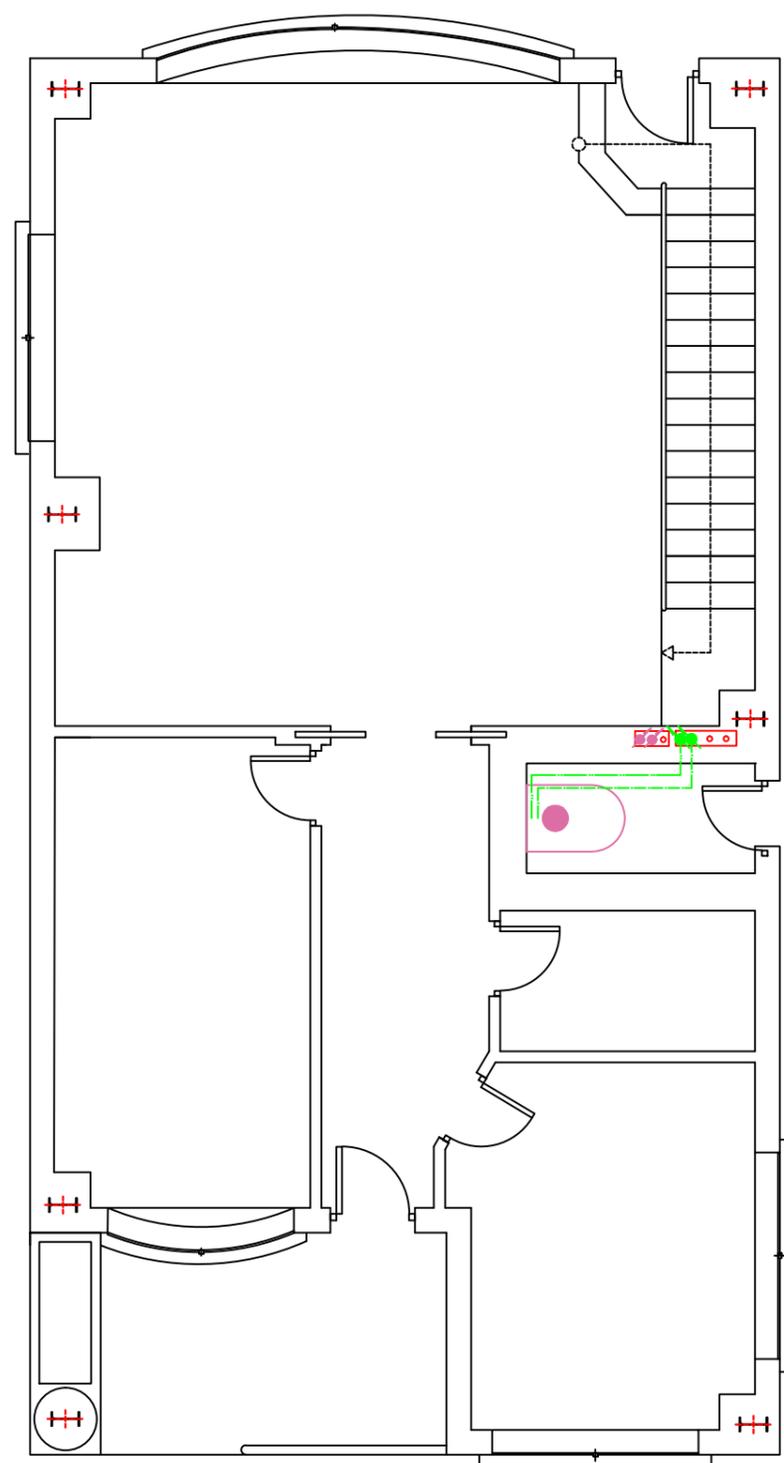
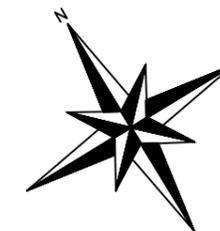
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



LEYENDA DE LA INSTALACION ENERGIA SOLAR

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	TUBO SOLAR IDA
	TUBO SOLAR RETORNO
	MONTANTE
	CALDERA

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

INSTALACION SOLAR PLANTA BAJA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
15

PROMOTOR:

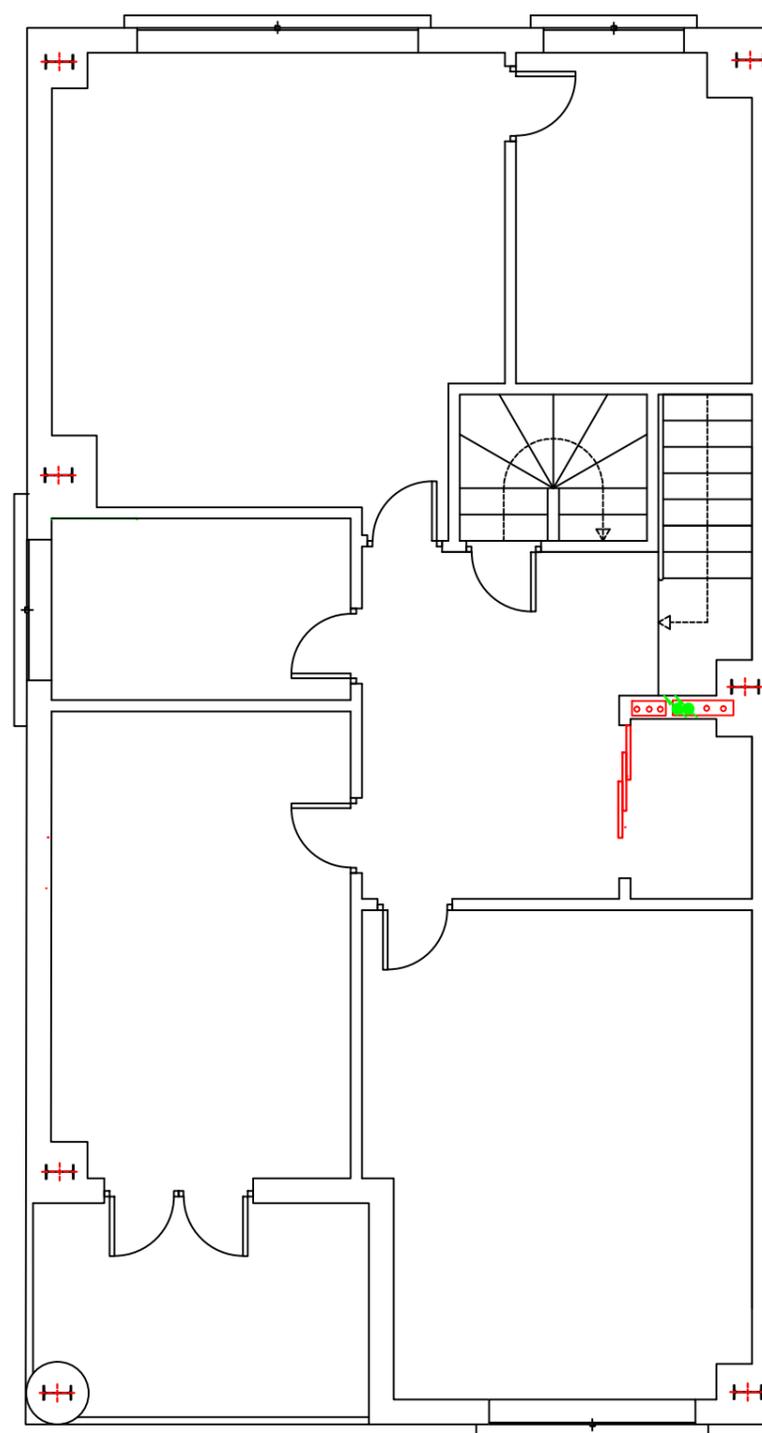
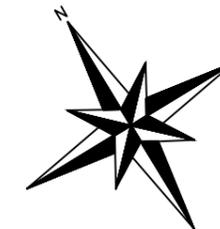
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



LEYENDA DE LA INSTALACION ENERGIA SOLAR

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	TUBO SOLAR IDA
	TUBO SOLAR RETORNO
	MONTANTE
	CALDERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
INSTALACION SOLAR PRIMERA PLANTA

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
16

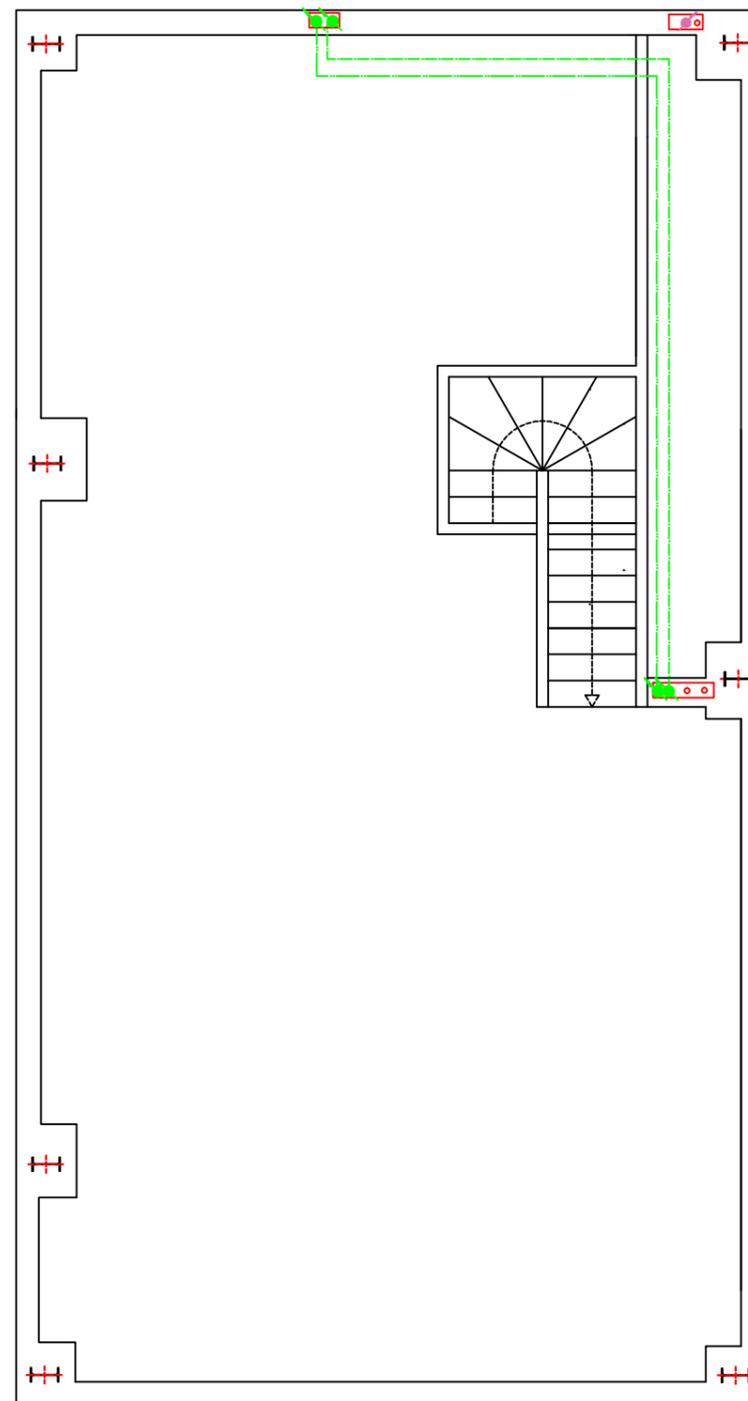
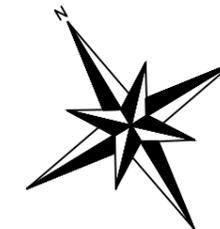
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



LEYENDA DE LA INSTALACION ENERGIA SOLAR

	BOMBA ACELERADORA
	LLAVE DE PASO
	LLAVE DE COMPUERTA CON GRIFO DE VACIADO
	TUBO SOLAR IDA
	TUBO SOLAR RETORNO
	MONTANTE
	CALDERA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
INSTALACION SOLAR ATICO

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

N° PLANO:
17

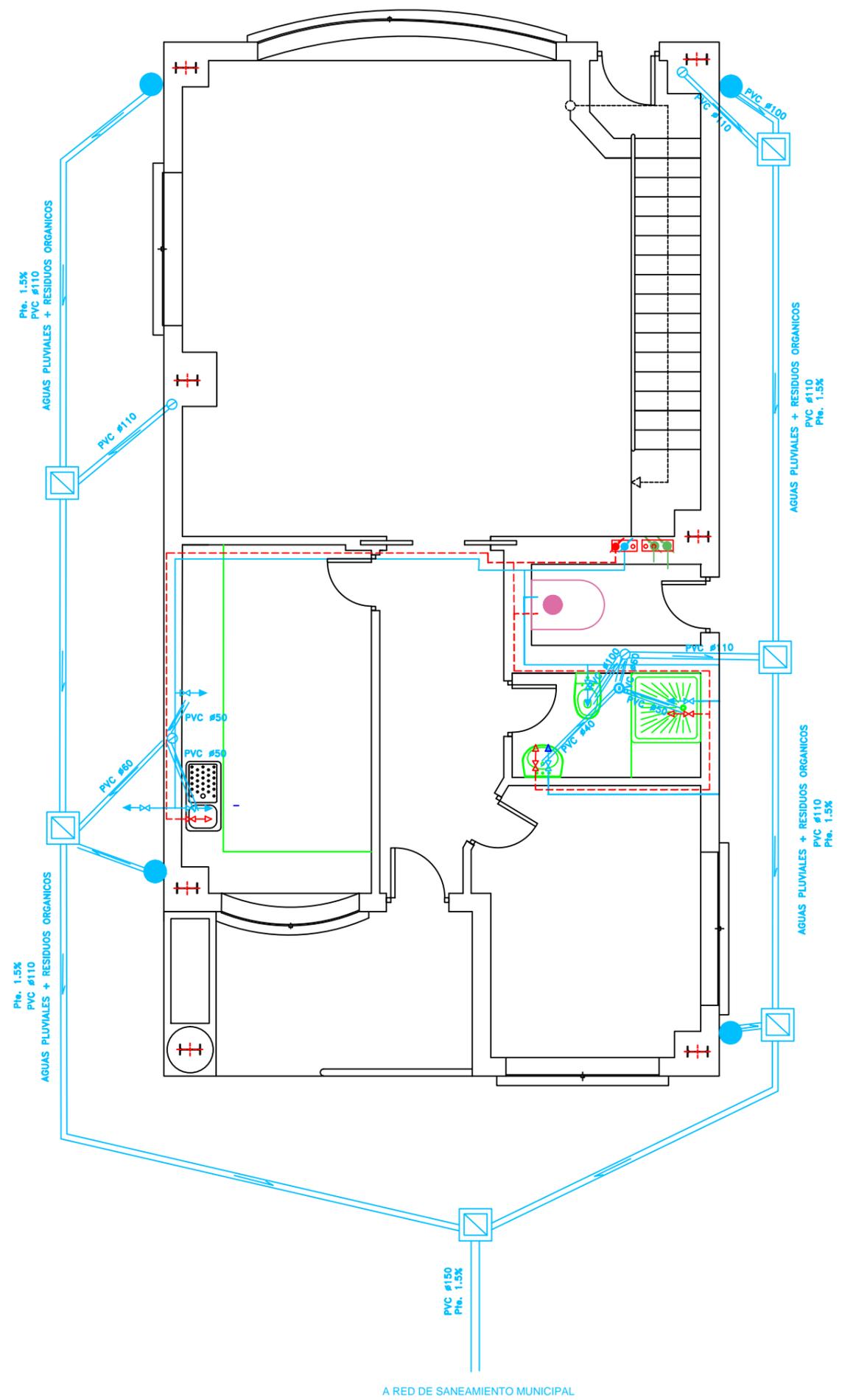
PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

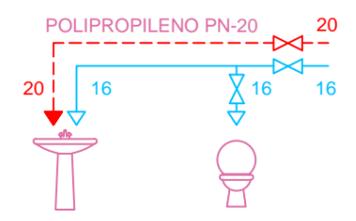
MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO

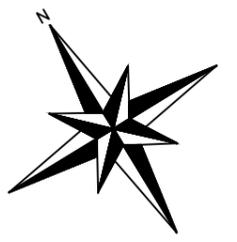


INSTALACION DE FONTANERIA

BAÑOS / ASEOS



LOS DIAMETROS DE LAS CANALIZACIONES ESTAN EXPRESADOS EN mm.



MEMORIA DE: FONTANERIA Y SANEAMIENTO

	Acometida
	Contador general
	Llave de paso
	Llave de vaciado
	Válvula de retención
	Caldera
	Grifo de agua fría
	Grifo de agua caliente
	Tubería de Polipropileno agua fría
	Tubería de Polipropileno agua caliente
	Montante de agua caliente
	Montante de agua fría
	Bote sifónico
	Bajante PVC
	Bajante canalon aguas pluviales
	Arqueta de encuentro (36x36 cm.)

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
FONTANERIA PLANTA BAJA

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

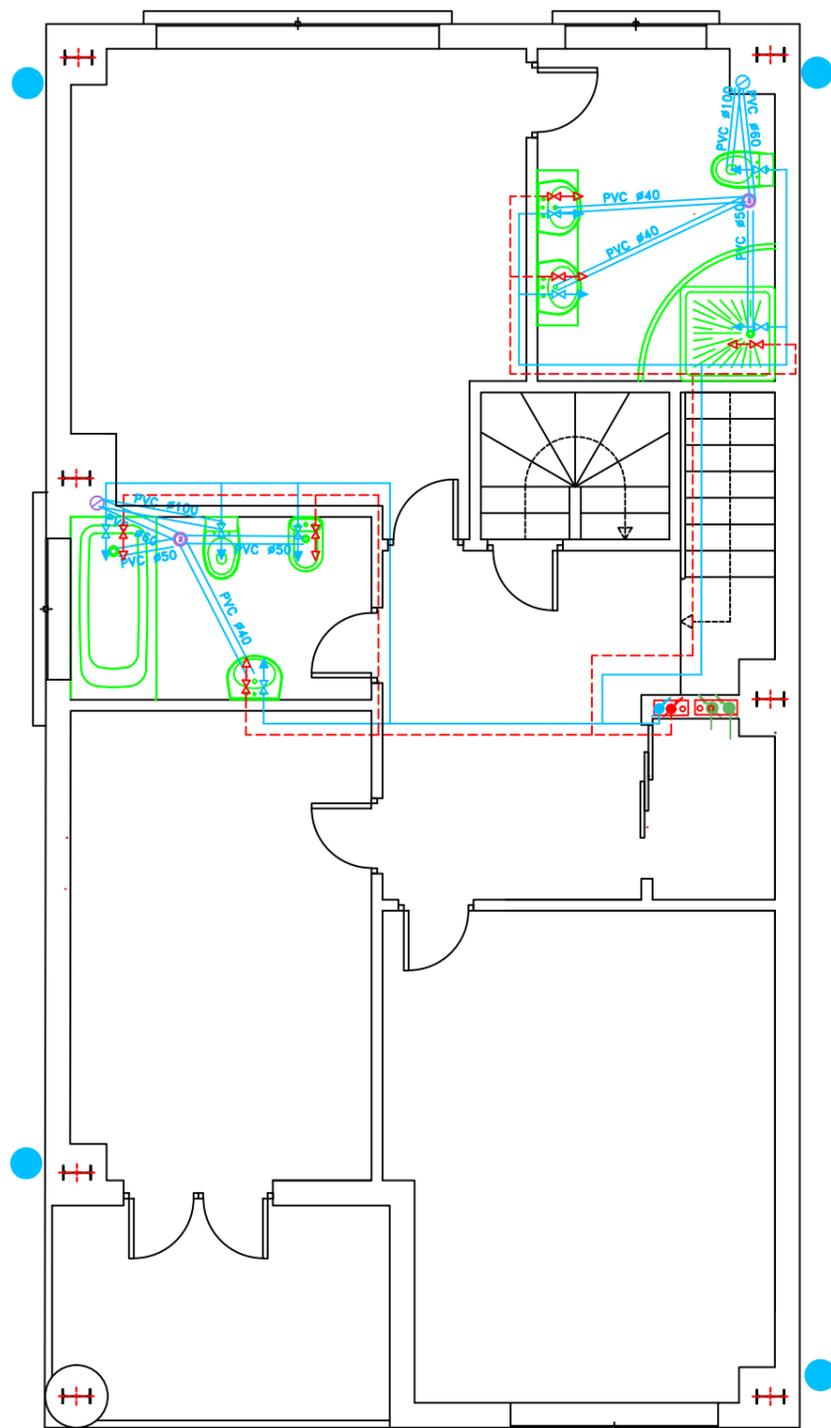
Nº PLANO:
18

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

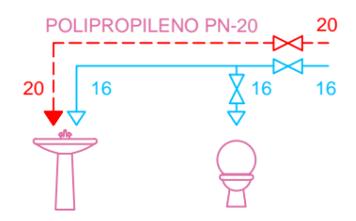
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL
Fdo: MARTA CÁCERES NIETO

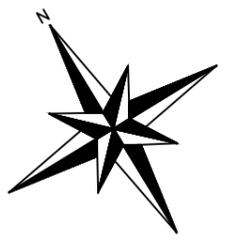


INSTALACION DE FONTANERIA

BAÑOS / ASEOS



LOS DIAMETROS DE LAS CANALIZACIONES ESTAN EXPRESADOS EN mm.



**MEMORIA DE:
FONTANERIA Y SANEAMIENTO**

	Acometida
	Contador general
	Llave de paso
	Llave de vaciado
	Válvula de retención
	Caldera
	Grifo de agua fría
	Grifo de agua caliente
	Tubería de Polipropileno agua fría
	Tubería de Polipropileno agua caliente
	Montante de agua caliente
	Montante de agua fría
	Bote sifónico
	Bajante PVC
	Bajante canalon aguas pluviales
	Arqueta de encuentro (36x36 cm.)

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
FONTANERIA PRIMERA PLANTA

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
JUNIO-2020

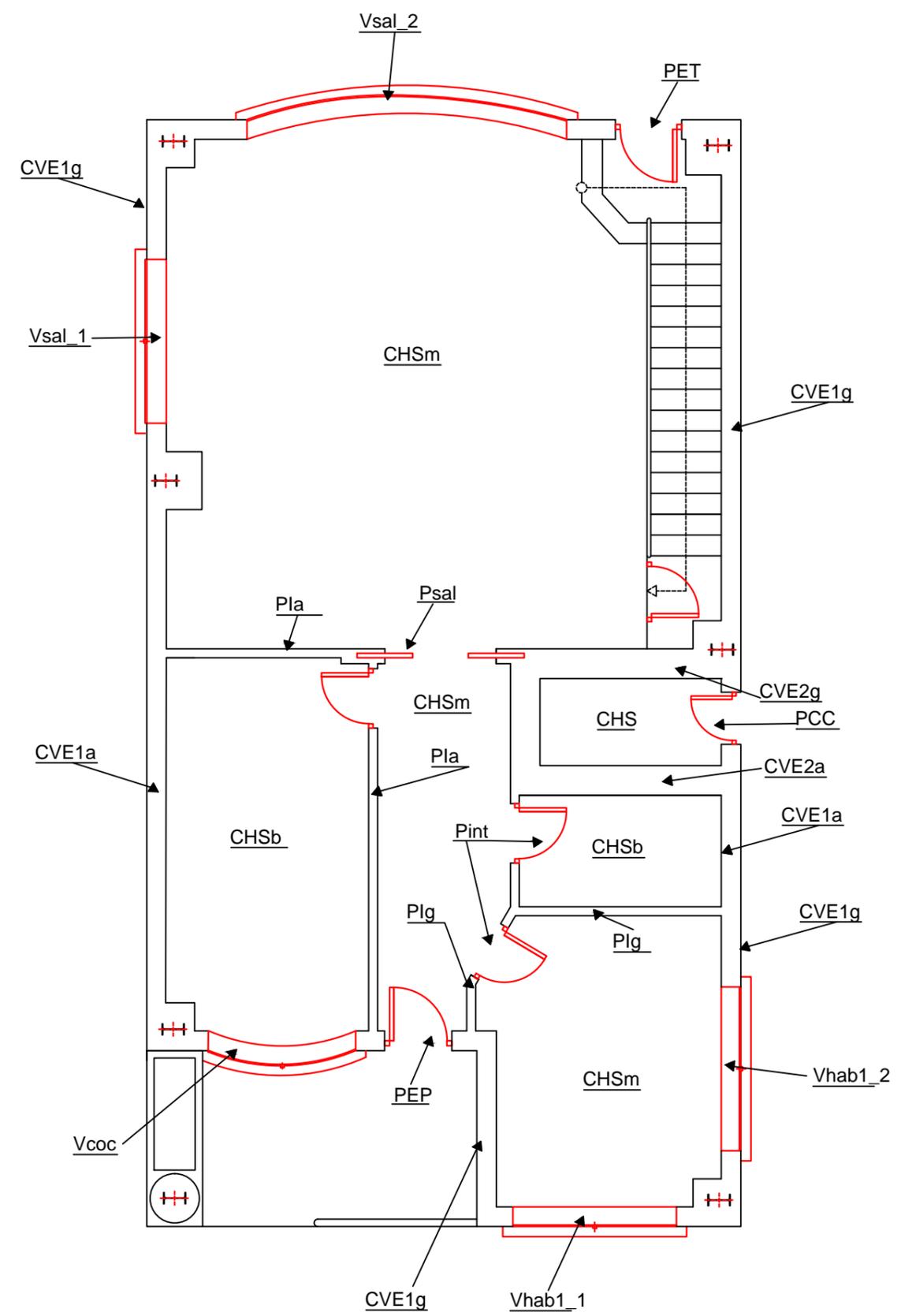
Nº PLANO:
19

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:
1:75

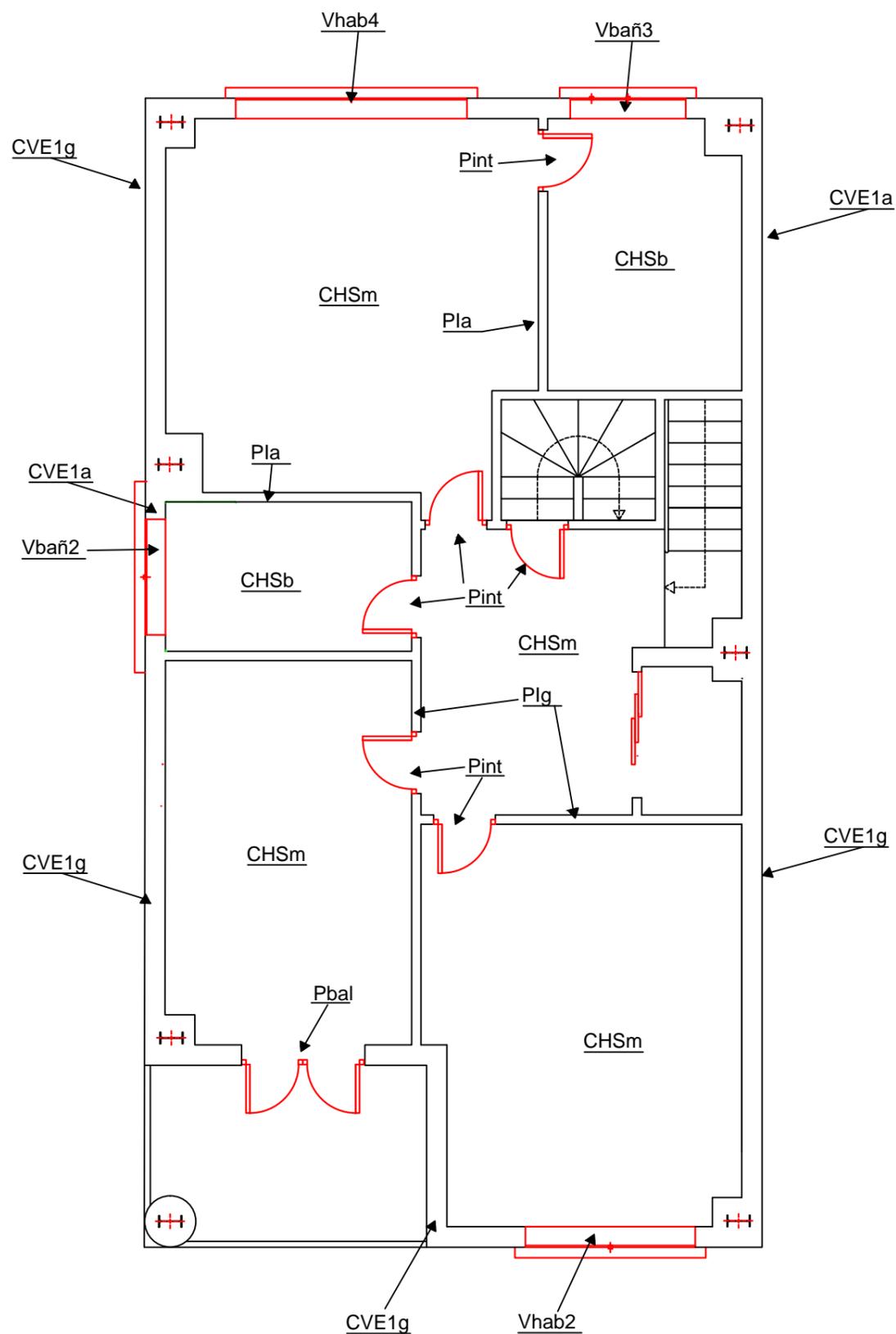
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL
Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



CVE1g	Cerramiento Vertical Exterior 1 general
CVE1a	Cerramiento Vertical Exterior 1 con azulejos
CVE2g	Cerramiento Vertical Exterior 2 general
CVE2a	Cerramiento vertical exterior 2 con azulejo
Plg	Partición interior general
Pla	Partición interior con azulejos
Vcoc	Ventana Cocina
Vhab1_1	Ventana 1 habitación 1
Vhab1_2	Ventana 2 habitación 1
Vsal_1	Ventana Salón 1
Vsal_2	Ventana Salón 2
PEP	Puerta entrada principal
PET	Puerta entrada trasera
PCC	Puerta Cuarto de Caldera
Pint	Puertas interiores
Psal	Puerta Salón

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TITULO PROYECTO: DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR		
PLANO: ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PLANTA BAJA		
DEPTO INGENIERIA ENERGETICA Y FLUIDOMECANICA	FECHA: JUNIO-2020	Nº PLANO: 20
	ESCALA: 1:75	FIRMA: EL/LOS ALUMNO/S:
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



CVE1g	Cerramiento Vertical Exterior 1 general
CVE1a	Cerramiento Vertical Exterior 1 con azulejos
PIg	Partición interior general
Pla	Particion interior con azulejos
Vhab2	Ventana Habitación 3
Vhab4	Ventana Habitación 4
Vbañ2	Ventana Baño 2
Vbañ3	Ventana Baño 3
Pint	Puertas interiores
Pbal	Puerta Balcón


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PRIMERA PLANTA

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
21

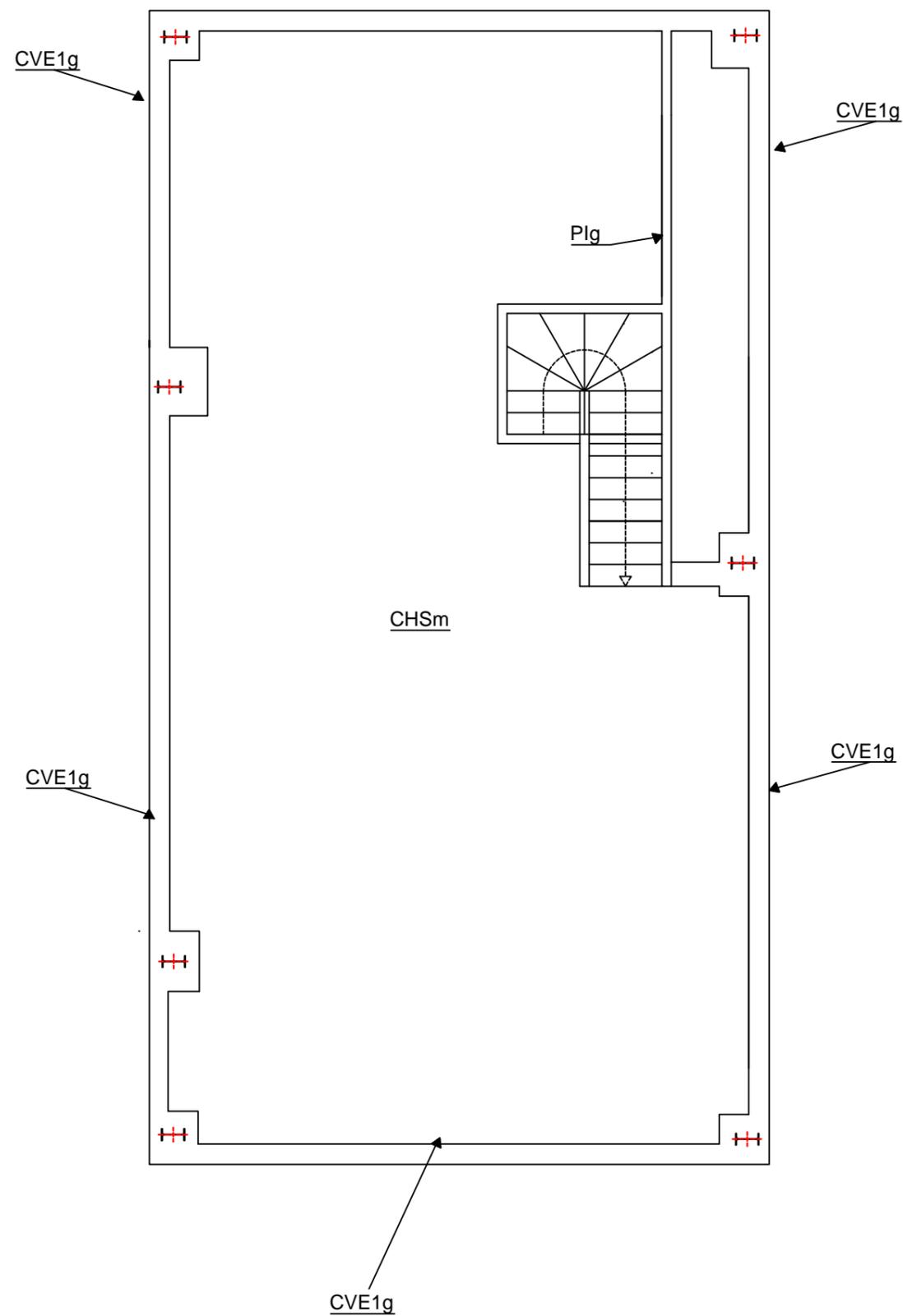
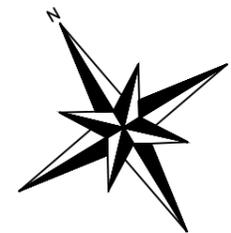
ESCALA:
1:75

FIRMA:
 EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



CVE1g	Cerramiento Vertical Exterior 1 general
Plg	Partición interior general

 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:
DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS ATICO

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
JUNIO-2020

Nº PLANO:
22

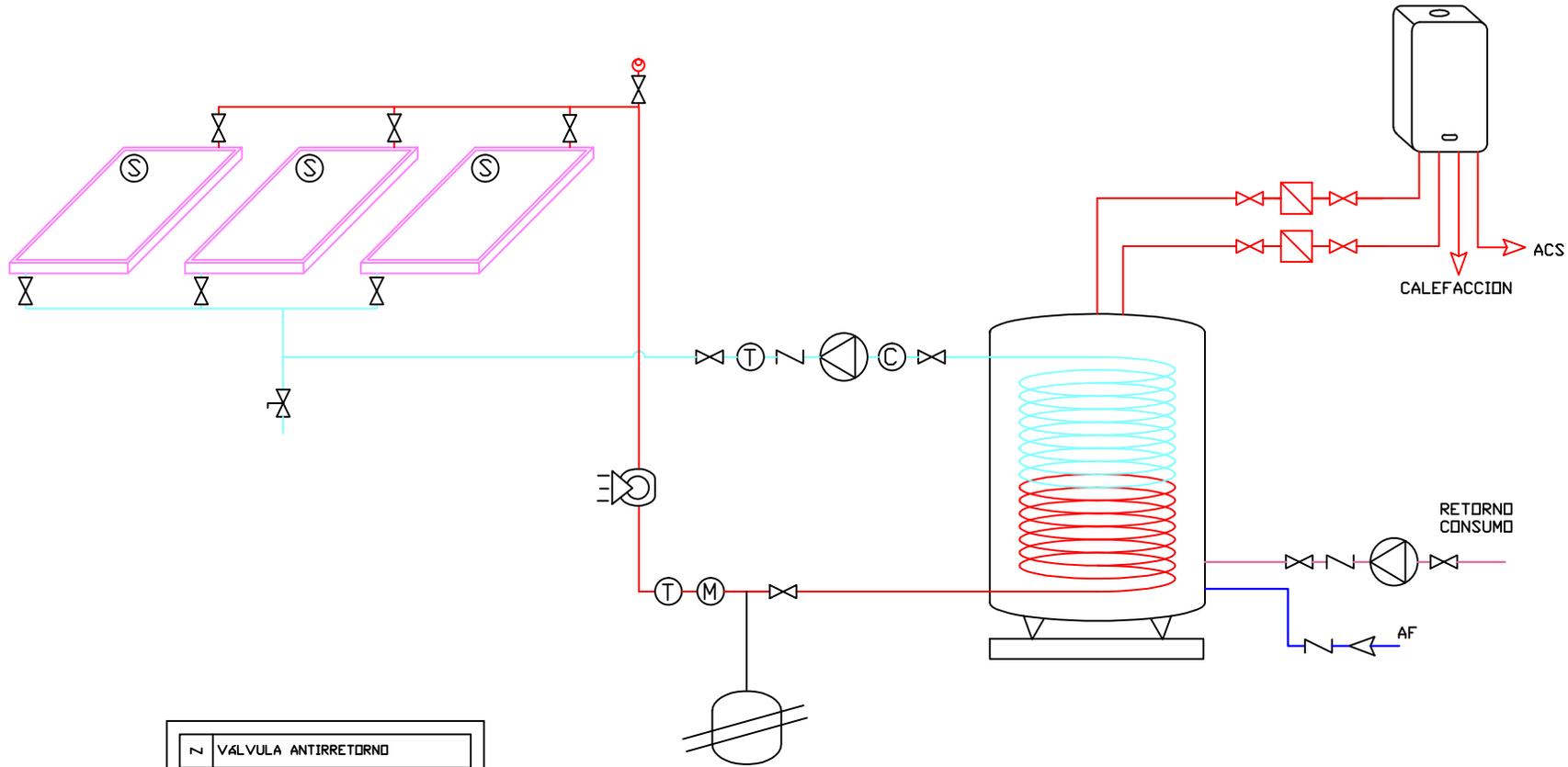
ESCALA:
1:75

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



∩	VÁLVULA ANTIRRETORNO
⋈	LLAVE DE PASO
⊕	VÁLVULA DE SEGURIDAD
⊙	MANÓMETRO
⊖	TERMÓMETRO
⊕	LLAVE DE VACIADO
⊕	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN
⊖	PURGADOR AUTOMÁTICO
⊕	GRUPO DE PRESIÓN
⊖	CAUDALÍMETRO
⊕	VÁLVULA ANTIARIETE
⊕	DISIPADOR DE CALOR
↓	PUNTO DE CONSUMO
⊕	SENSOR DE TEMPERATURA DEL COLECTOR
⊕	PANEL SOLAR
⊕	CALDERA CONVENCIONAL

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TÍTULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

**ESQUEMA INSTALACION ENERGIA SOLAR
CALDERA CONVENCIONAL**

DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA

FECHA:
Sept. 2020

Nº PLANO:
23

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

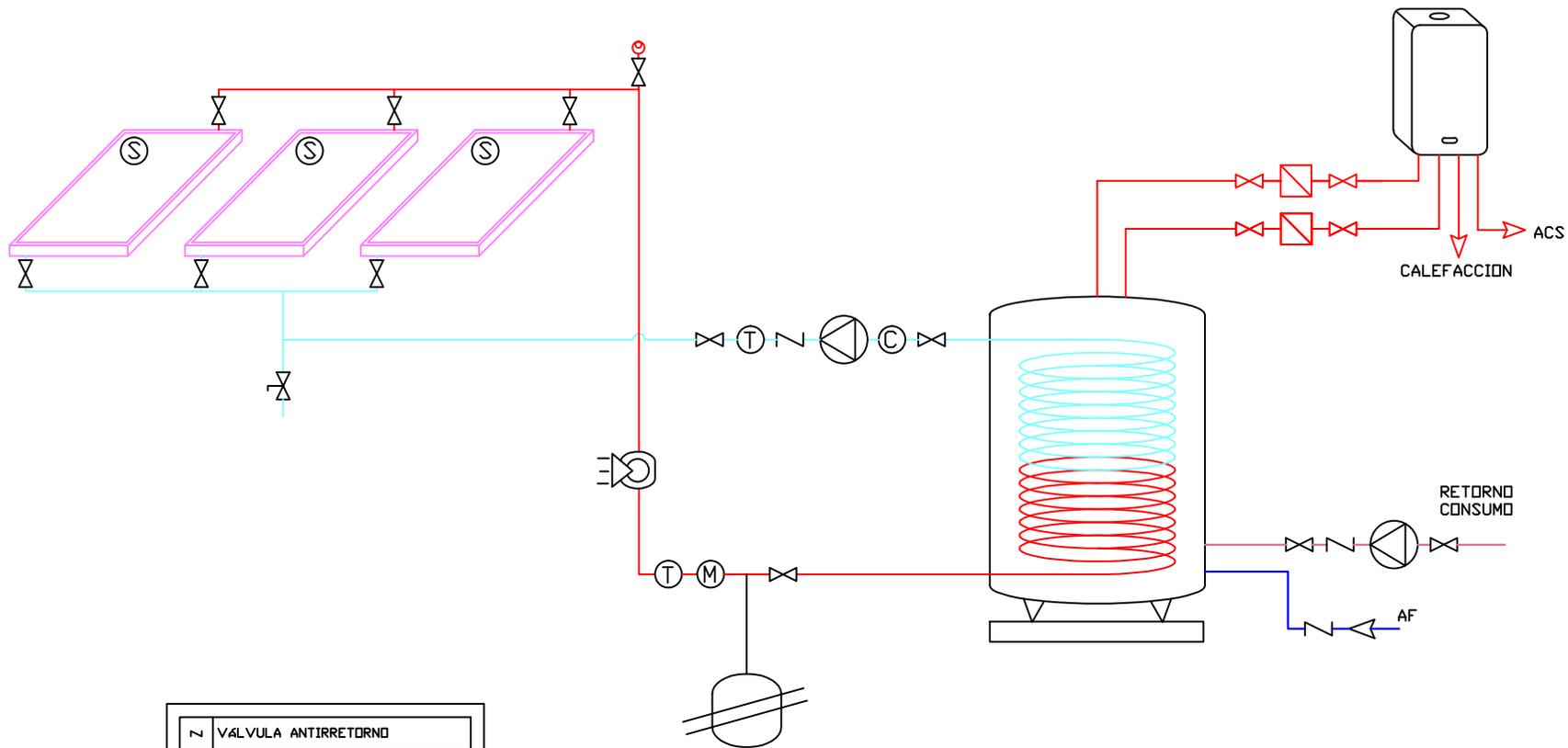
ESCALA:

1

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



∩	VÁLVULA ANTIRRETORNO
⋈	LLAVE DE PASO
⊕	VÁLVULA DE SEGURIDAD
⊙	MANÓMETRO
⊖	TERMÓMETRO
⊕	LLAVE DE VACIADO
⊕	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN
⊖	PURGADOR AUTOMÁTICO
⊕	GRUPO DE PRESIÓN
⊙	CAUDALÍMETRO
⊕	VÁLVULA ANTIARIETE
⊕	DISIPADOR DE CALOR
↓	PUNTO DE CONSUMO
⊙	SENSOR DE TEMPERATURA DEL COLECTOR
⊕	PANEL SOLAR
⊕	CALDERA DE CONDENSACION


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TITULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

**ESQUEMA INSTALACION ENERGIA SOLAR
CALDERA DE CONDENSACION**

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:

Sept. 2020

Nº PLANO:

24

ESCALA:

1

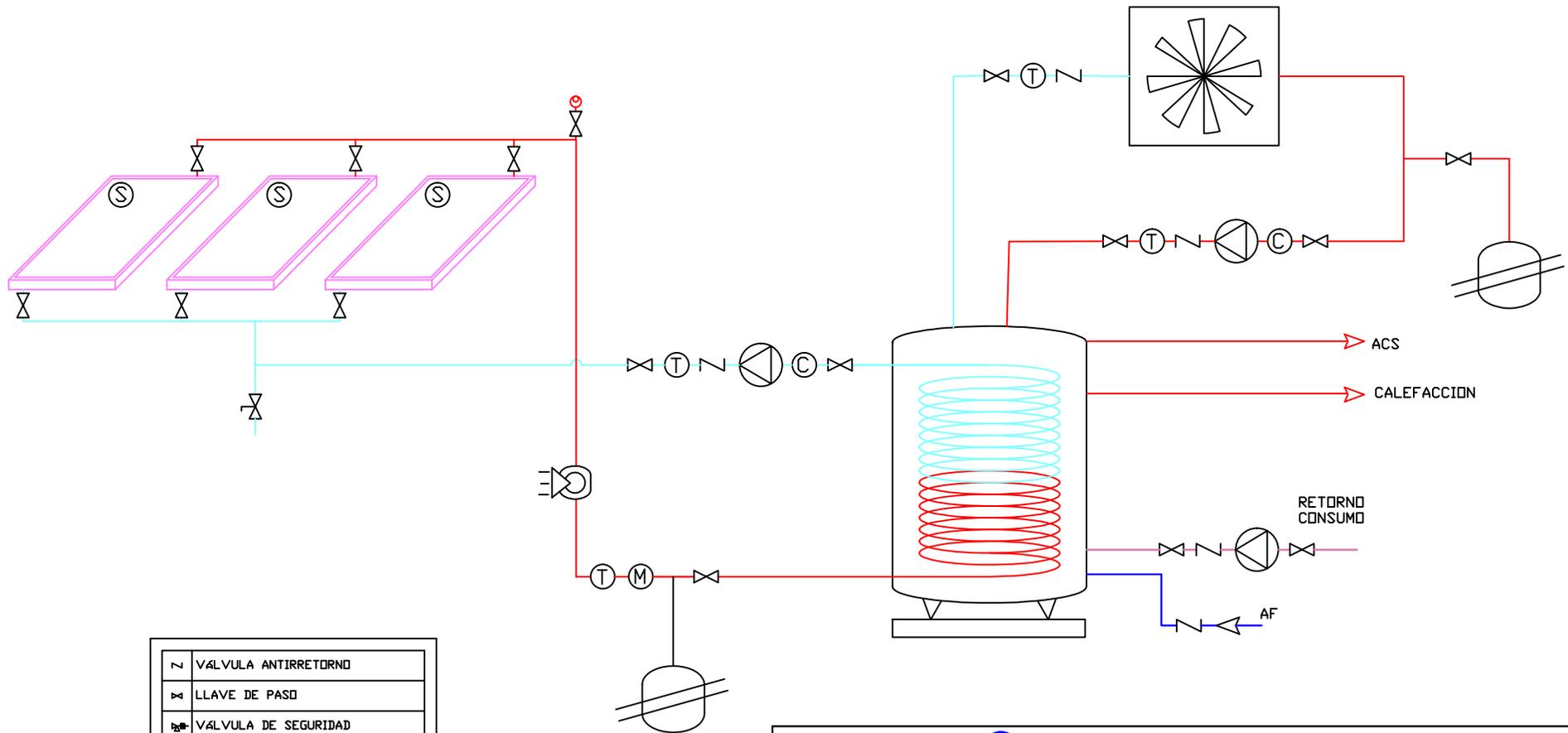
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



∩	VÁLVULA ANTIRRETORNO
⋈	LLAVE DE PASO
⊕	VÁLVULA DE SEGURIDAD
⊙	MANÓMETRO
⊖	TERMÓMETRO
⊕	LLAVE DE VACIADO
⊕	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN
⊕	PURGADOR AUTOMÁTICO
⊕	GRUPO DE PRESIÓN
⊕	CAUDALÍMETRO
⊕	VÁLVULA ANTIARIETE
⊕	DISIPADOR DE CALOR
↓	PUNTO DE CONSUMO
⊕	SENSOR DE TEMPERATURA DEL COLECTOR
⊕	PANEL SOLAR
⊕	UNIDAD EXTERNA


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TÍTULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

**ESQUEMA INSTALACION ENERGIA SOLAR
+ BOMBA DE CALOR**

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
Sept. 2020

Nº PLANO:
25

ESCALA:

1

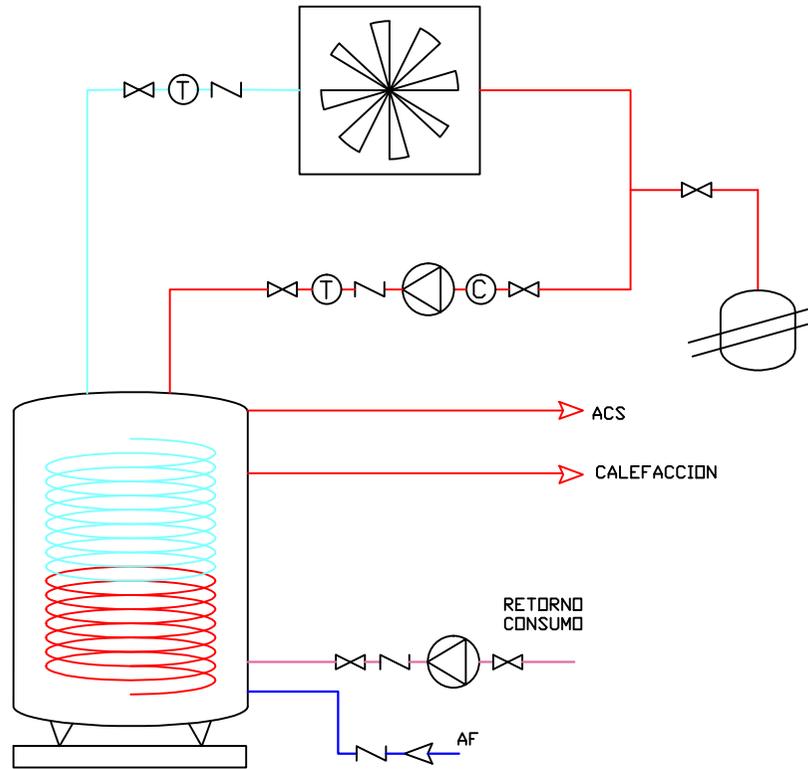
FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO



∩	VÁLVULA ANTIRRETORNO
⋈	LLAVE DE PASO
⊕	VÁLVULA DE SEGURIDAD
⊙	MANÓMETRO
⊖	TERMÓMETRO
⊕	LLAVE DE VACIADO
⊕	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN
⊙	PURGADOR AUTOMÁTICO
⊙	GRUPO DE PRESIÓN
⊙	CAUDALÍMETRO
⊕	VÁLVULA ANTIARIETE
⊕	DISIPADOR DE CALOR
↓	PUNTO DE CONSUMO
⊙	SENSOR DE TEMPERATURA DEL COLECTOR
⊕	PANEL SOLAR
⊕	CALENTADOR ESTANCO INSTANTANEO


UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TÍTULO PROYECTO:

DEMANDA TERMICA VIVENDA UNIFAMILIAR

PLANO:

ESQUEMA INSTALACION BOMBA DE CALOR

**DEPTO INGENIERIA ENERGETICA
Y FLUIDOMECANICA**

FECHA:
Sept. 2020

Nº PLANO:
26

PROMOTOR:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCALA:

-

FIRMA:
EL/LOS ALUMNO/S:

MASTER INGENIERIA INDUSTRIAL

Fdo: MARTA CÁCERES NIETO

**ANEXO
OTROS
DOCUMENTOS**

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA

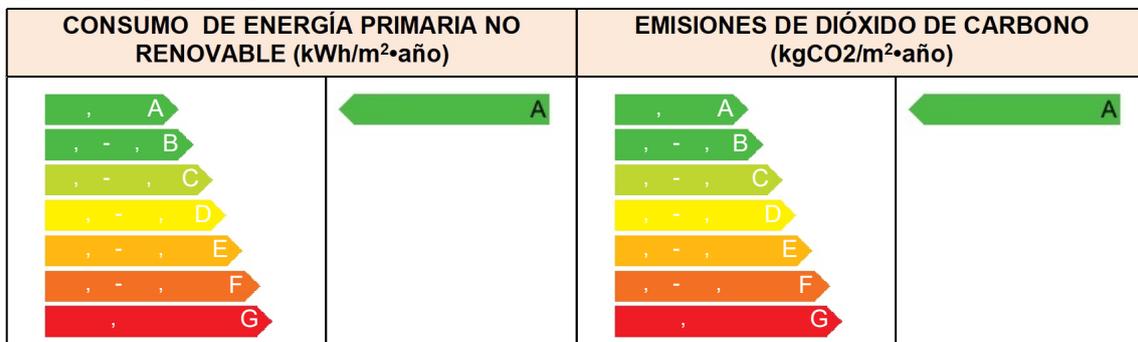
Nombre del edificio	certificado energetico		
Dirección	camino brahojos - - - - -		
Municipio	Carpio	Código Postal	
Provincia	Valladolid	Comunidad Autónoma	Castilla y León
zona climática	D	Año construcción	Posterior a
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	CTE HE		
Referencia/s catastral/es	ninguno		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica	
<input checked="" type="checkbox"/> Edificio de nueva construcción	<input type="checkbox"/> Edificio existente
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> unifamiliar <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Bloque completo <input type="checkbox"/> Vivienda individual	<input type="checkbox"/> Terciario <input type="checkbox"/> Edificio completo <input type="checkbox"/> Local

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR

Nombre Apellidos	Marta Caceres Ieto	NI /NIE	q
Razón social	Razón Social	NI	-
Domicilio	Mateo Seoane Sobraal - - - b		
Municipio	Valladolid	Código Postal	
Provincia	Valladolid	Comunidad Autónoma	Castilla y León
e mail	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado versión	H CTE-HE y CEE Versión, de fecha -ene-		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA



El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus ane os:

Fecha

Firma del técnico certificador:

- Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.
- Anexo II.** Calificación energética del edificio.
- Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.
- Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Organismo Territorial Competente:

ANEXO I

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

1 SUPERFICIE, IMAGEN SITUACIÓN

Superficie habitable (m ²)	
--	--

Imagen del edificio	Plano de situación

2 ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)	Modo de obtención
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E FTER	Suelo	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario

P E FE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E PE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FE	Muro Exterior	,	,	suario
P E FE	Muro Exterior	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario
P E C	Cubierta	,	,	suario

Huecos lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² K)	actor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención actor solar
Ventana general	Hueco	,	,	,	suario	suario
Ventana general	Hueco	,	,	,	suario	suario
Ventana general	Hueco	,	,	,	suario	suario
Ventana general	Hueco	,	,	,	suario	suario
Ventana atico	Hueco	,	,	,	suario	suario
Puerta general	Hueco	,	,	,	suario	suario
Puerta balcon	Hueco	,	,	,	suario	suario
PET	Hueco	,	,	,	suario	suario
Hueco	Hueco	,	,	,	suario	suario

3 INSTALACIONES T RMICAS

Generadores de cale acción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Ener a	Modo de obtención
Sistema de sustitución	Sistema de rendimiento estacional constante	-	,	Gas atural	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Generadores de re ri eración

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Ener a	Modo de obtención
Sistema de sustitución	Sistema de rendimiento estacional constante	-	,	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60 °C (litros/día)	,
--	---

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS EQ EQ ED AireAgua B DC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	,	,	ElectricidadPeninsular	usuario

4 INSTALACIÓN DE ILUMINACION

(o aplicable)

5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO OCUPACIÓN

(o aplicable)

6 ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía final, cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	-	-	-	,
TOTALES	0,00	0,00	0,00	72,93

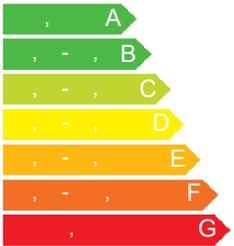
Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada autoconsumida (kWh/año)
Panel fotovoltaico	,
TOTALES	0

ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

zona climática	D	Uso	Certificación Verificación Nuevo
----------------	---	-----	----------------------------------

1 CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

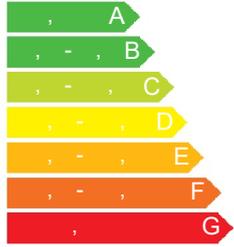
INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	<i>Emisiones calefacción</i> (kgCO ₂ /m ² año)	A	<i>Emisiones ACS</i> (kgCO ₂ /m ² año)	A
<i>Emisiones globales</i> (kgCO ₂ /m ² año) ¹	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	<i>Emisiones refrigeración</i> (kgCO ₂ /m ² año)	B	<i>Emisiones iluminación</i> (kgCO ₂ /m ² año)	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² .año	kgCO ₂ /año
<i>Emisiones CO₂ por consumo eléctrico</i>	,	,
<i>Emisiones CO₂ por combustibles fósiles</i>	,	,

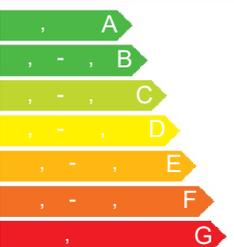
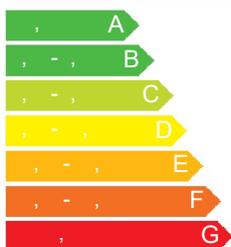
2 CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	<i>Energía primaria no renovable calefacción</i> (kWh/m ² año)	A	<i>Energía primaria no renovable ACS</i> (kWh/m ² año)	A
<i>Consumo global de energía primaria no renovable</i> (kWh/m ² año) ¹	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	<i>Energía primaria no renovable refrigeración</i> (kWh/m ² año)	B	<i>Energía primaria no renovable iluminación</i> (kWh/m ² año)	-

3 CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

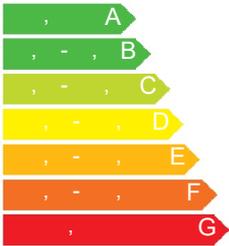
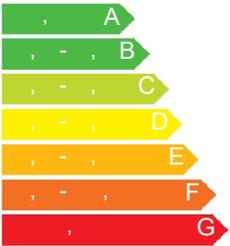
DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	
<i>Demanda de calefacción</i> (kWh/m ² año)	<i>Demanda de refrigeración</i> (kWh/m ² año)

¹El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

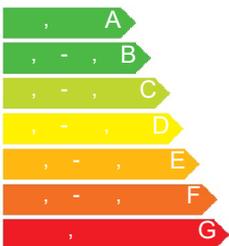
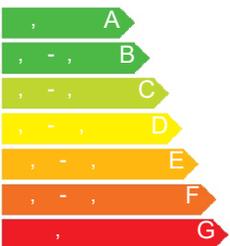
ANEXO III

RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² ·año)	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO ₂ /m ² ·año)
	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m ² ·año)	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m ² ·año)
	

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m ² ·año)										
Consumo Energía final (kWh/m ² ·año)										
Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ² ·año)										
Demanda (kWh/m ² ·año)					[Hatched area]					

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

DESCRIPCIÓN DE MEDIDA DE MEJORA
Características técnicas de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos)
Coste estimado de la medida
Otros datos de interés

ANEXO IV

PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	
--	--

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

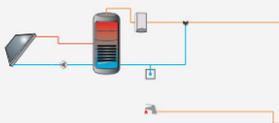
Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

Datos del autor

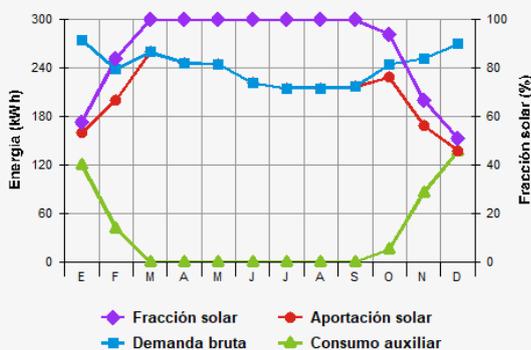
Nombre	
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

Características del sistema solar



Localización de referencia	Carpio (Valladolid)											
Altura respecto la referencia [m]	-6											
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con interacumulador											
Demanda [l/día a 60°C]	140											
Ocupación %	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Resultados



Fracción solar [%]	87
Demanda neta [kWh]	2.896
Demanda bruta [kWh]	2.902
Aporte solar [kWh]	2.517
Consumo auxiliar [kWh]	408
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	563

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Cálculo del sistema de referencia

De acuerdo al apartado 2.2.1 de la sección HE4, la contribución solar mínima podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio.

Para poder realizar la sustitución se justificará documentalmente que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de ACS, o la demanda total de ACS y calefacción si se considera necesario, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y el sistema de referencia (se considerará como sistema de referencia para ACS, y como sistema de referencia para calefacción, una caldera de gas con rendimiento medio estacional de 92%).

Demanda ACS total [kWh]	2.896
Demanda ACS de referencia [kWh]	379
Demanda calefacción CALENER [kWh]	0
Consumo energía primaria [kWh]	492
Emisiones de CO2 [kg CO2]	104

La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Parámetros del sistema		Verificación en obra
Campo de captadores		
Captador seleccionado	FKT-1 S (Junkers)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-48911 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	3,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	1,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	32,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	25,0	<input type="checkbox"/>
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	484,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	35,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	33,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	12,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	25,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	lana mineral	<input type="checkbox"/>
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera de condensación	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
Acumulación		
Volumen [l]	500,0	<input type="checkbox"/>
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	1,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	12,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	25,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	lana mineral	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>