

**GRADO EN TECNOLOGIA DE MINAS Y  
ENERGIAS**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

***ESTUDIO DE LA REFORMA  
ENERGETICA EN UNA VIVIENDA  
UNIFAMILIAR EN CASTILLO SIETE  
VILLAS (CANTABRIA)***

***DOCUMENTO 1- MEMORIA***

**Alumno/Alumna: Molina Aira Jagoba**

**Director/Directora (1): Azkorra Larrinaga Zalao**

**Curso: 2017-2018**

**Fecha: 22, febrero, 2018**

## Índice

1.1	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	1
1.1.1	<i>Antecedentes</i> .....	1
1.1.1.1	Contexto energético en España .....	3
1.1.1.2	Contexto energético en Cantabria .....	5
1.1.1.3	Energía solar térmica aplicada en edificios .....	5
1.1.1.4	Energía de la biomasa aplicada en edificios .....	7
1.1.2	<i>Objeto del proyecto</i> .....	9
1.1.2.1	Alcance del proyecto .....	10
1.1.3	<i>Situación y emplazamiento</i> .....	11
1.1.3.1	Clima de Cantabria .....	12
1.1.4	<i>Estudio de alternativas</i> .....	13
1.1.4.1	Instalación solar térmica para ACS.....	13
1.1.4.1.1	Funcionamiento.....	14
1.1.4.1.2	Elementos de la instalación solar térmica .....	15
1.1.4.1.2.1	Colector solar .....	19
1.1.4.1.2.1.1	Colectores de polipropileno .....	19
1.1.4.1.2.1.2	Colectores de tubos de vacío .....	20
1.1.4.1.2.1.3	Colectores de placa plana .....	21
1.1.4.1.2.1.4	Orientación e Inclinación.....	23
1.1.4.1.2.1.5	Soporte de colector solar .....	24
1.1.4.1.2.2	Sistema de acumulación .....	25
1.1.4.1.2.3	Intercambiador de calor.....	27
1.1.4.1.2.4	Fluido caloportador.....	28
1.1.4.1.2.5	Red de tuberías .....	30
1.1.4.1.2.6	Aislamiento .....	31
1.1.4.1.2.7	Bombas .....	32
1.1.4.1.2.8	Vaso de expansión .....	33
1.1.4.1.2.9	Válvulas .....	34
1.1.4.1.2.10	Purgadores y Desaireadores .....	35
1.1.4.1.2.11	Otros accesorios.....	36
1.1.4.1.2.12	Sistema de control .....	37
1.1.4.1.2.13	Sistema de apoyo auxiliar .....	38
1.1.4.2	Energía de biomasa para calefacción .....	40
1.1.4.2.1	Suelo radiante .....	41
1.1.4.2.2	Tipos de combustibles .....	44
1.1.4.2.2.1	Astillas .....	44
1.1.4.2.2.2	Residuos agroindustriales .....	45
1.1.4.2.2.3	Combustibles tradicionales: leña y briquetas .....	46
1.1.4.2.2.4	Pellets de biomasa .....	47
1.1.4.2.3	Calderas de biomasa.....	48
1.1.4.2.3.1	Partes de una caldera.....	49
1.1.5	<i>Descripción del proyecto</i> .....	51
1.1.5.1	Características de la vivienda .....	51
1.1.5.1.1	Planta baja.....	51
1.1.5.1.2	Planta principal.....	52
1.1.5.1.3	Cubierta .....	53
1.1.5.1.4	Huecos y lucernarios .....	54
1.1.5.1.4.1	Ventanas .....	54
1.1.5.1.4.2	Puertas .....	55
1.1.5.1.5	Instalaciones actuales para ACS y calefacción.....	56
1.1.5.2	Dimensionamiento de la instalación solar térmica para ACS .....	56
1.1.5.2.1	Colector solar seleccionado.....	58
1.1.5.2.2	Sistema de acumulación seleccionado .....	59

1.1.5.2.3	Grupo de bombeo seleccionado.....	60
1.1.5.2.4	Vaso de expansión seleccionado .....	61
1.1.5.2.5	Sistema de control seleccionado .....	62
1.1.5.2.6	Sistema auxiliar .....	63
1.1.5.3	Dimensionamiento de caldera de biomasa .....	64
1.1.5.3.1	Selección del combustible .....	64
1.1.5.3.2	Selección de la caldera .....	64
1.1.5.3.3	Chimenea y conducto de humos .....	66
1.1.5.3.4	Silo de pellets .....	66
1.1.5.4	Dimensionamiento de la instalación de suelo radiante .....	67
1.1.5.4.1	Mortero Autonivelante.....	75
1.1.5.5	Certificación de la vivienda .....	78
1.1.5.5.1	Certificación previa a las mejoras.....	79
1.1.5.5.2	Certificación con mejoras de instalaciones .....	79
1.1.6	<i>Resumen del presupuesto</i> .....	80
1.1.7	<i>Normativa</i> .....	82
1.1.8	<i>Bibliografía</i> .....	87
1.2	MEMORIA JUSTIFICATIVA .....	91
1.2.1	<i>Cálculos</i> .....	91
1.2.1.1	Cálculo instalación solar térmica.....	91
1.2.1.1.1	Datos de partida .....	91
1.2.1.1.1.1	Zona climática .....	92
1.2.1.1.1.2	Contribución solar mínima .....	93
1.2.1.1.1.3	Demanda energética de ACS.....	94
1.2.1.1.2	Cálculo de la producción energética de ACS.....	97
1.2.1.1.2.1	Predimensionamiento de la instalación .....	97
1.2.1.1.3	Cálculo de la cobertura solar. Método F-Chart .....	98
1.2.1.1.3.1	Energía teórica disponible.....	100
1.2.1.1.3.1.1	Cálculo de parámetro D1:.....	102
1.2.1.1.3.1.2	Cálculo de parámetro D2:.....	104
1.2.1.1.3.1.3	Cálculo de la cobertura solar .....	106
1.2.1.1.4	Cálculo de pérdidas de los colectores .....	108
1.2.1.1.4.1	Pérdidas por orientación e inclinación .....	108
1.2.1.1.4.2	Pérdidas por sombras.....	109
1.2.1.1.5	Sistema de acumulación.....	110
1.2.1.1.6	Sistema de intercambio.....	110
1.2.1.1.7	Circuito primario.....	111
1.2.1.1.7.1	Fluido caloportador.....	111
1.2.1.1.7.2	Cálculo de red de tuberías .....	114
1.2.1.1.8	Cálculo de la bomba .....	117
1.2.1.1.9	Cálculo de vaso de expansión.....	119
1.2.1.1.10	Aislamiento de tuberías .....	122
1.2.1.2	Cálculo necesidades de calefacción .....	123
1.2.1.2.1	Cálculo de los parámetros de la envolvente térmica .....	124
1.2.1.2.1.1	Cerramientos en contacto con el aire exterior: .....	125
1.2.1.2.1.1.1	Muro exterior.....	127
1.2.1.2.1.1.2	Cubierta.....	128
1.2.1.2.1.2	Cerramientos en contacto con el terreno .....	128
1.2.1.2.1.3	Particiones interiores con espacios no habitables .....	129
1.2.1.2.1.3.1	Suelo.....	130
1.2.1.2.1.4	Huecos y lucernarios .....	131
1.2.1.2.1.4.1	Ventanas .....	131
1.2.1.2.1.4.2	Puertas .....	132
1.2.1.2.2	Necesidades de calefacción.....	133
1.2.1.2.2.1	Cálculo de pérdidas por transmisión:.....	133
1.2.1.2.2.2	Cálculo de pérdidas por ventilación .....	136

1.2.1.2.2.1	Carga térmica por ventilación de diseño .....	138
1.2.1.2.2.2	Carga térmica por ventilación mensual .....	139
1.2.1.2.2.3	Carga térmica por infiltraciones .....	139
1.2.1.2.2.4	Resumen de cargas totales .....	139
1.2.1.3	Calculo de la instalación de suelo radiante .....	141
1.2.1.3.1	Circuitos de la instalación .....	141
1.2.1.3.2	Cálculo del caudal de la instalación .....	142
1.2.1.3.3	Cálculo de las pérdidas de carga .....	143
1.2.1.3.4	Selección de la bomba .....	147
1.2.1.4	Cálculo potencia de caldera .....	149
1.2.1.5	Cálculo del volumen del silo de pellets .....	149
1.2.2	<i>Estudios</i> .....	151
1.2.2.1	Estudio de impacto y recuperación medioambiental .....	151
1.2.2.1.1	Efecto invernadero .....	152
1.2.2.1.2	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	153
1.2.2.1.2.1	Ahorro emisiones CO <sub>2</sub> de Instalación solar para ACS .....	154
1.2.2.1.2.2	Ahorro emisiones CO <sub>2</sub> de caldera de Pellets .....	154
1.2.2.1.2.3	Ahorro Climatización por Suelo radiante .....	155
1.2.2.1.2.4	Resumen de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	156
1.2.2.2	Estudio de viabilidad técnica o económica .....	157
1.2.2.2.1	Viabilidad económica .....	157
1.2.2.2.2	Tiempo de amortización .....	161

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del pueblo Isla.....	11
Figura 2. Ubicación de la vivienda.....	11
Figura 3. Esquema básico para una instalación solar térmica para ACS.....	15
Figura 4. Instalaciones de transferencia directa .....	16
Figura 5. Instalaciones de transferencia indirecta .....	17
Figura 6. Instalaciones con circulación natural .....	18
Figura 7. Instalaciones con circulación forzada.....	18
Figura 8. Colector de polipropileno.....	19
Figura 9. Colector de tubos d vacío .....	20
Figura 10. Colector de placa plana .....	21
Figura 11. Corte transversal de un colector de placa plana.....	21
Figura 12. Orientación e Inclinación del colector.....	23
Figura 13. Funcionamiento de un vaso de expansión cerrado. A la izquierda, funcionamiento en caliente. A la derecha, en frío .....	33
Figura 14. Circulación del aire en el interior de una vivienda .....	41
Figura 15. Curva de distribución de calor mediante suelo radiante .....	41
Figura 16. Astillas .....	44
Figura 17. Residuos agroindustriales .....	45
Figura 18. Leña .....	46
Figura 19. Briquetas .....	47
Figura 20. Pellets .....	47
Figura 21. Intercambiador de calor de caldera de biomasa.....	49
Figura 22. Planta baja.....	51
Figura 23. Planta principal.....	52
Figura 24. Cubierta .....	53
Figura 25. Ventana tipo 1 .....	54
Figura 26. Ventana tipo 2 .....	54
Figura 27. Ventana tipo 3 .....	55
Figura 28. Puerta tipo 1 y tipo 2.....	55
Figura 29. Colector solar Junkers FKT-1 .....	58
Figura 30. Vaso de expansión SAG 18 .....	61
Figura 31. Sistema de control TDS 100.....	63
Figura 32. Silo de pellets Geobox C-125.....	66

Figura 33. Esquema de una valvula mezcladora termostática .....	73
Figura 34. Esquema de la instalación con circuito de mezcla a temperatura fija .....	73
Figura 35. Zonas climáticas .....	92
Figura 36. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas de orientación e inclinación .....	109
Figura 37. Porcentaje de propilenglicol en función de la Tª de congelación .....	112
Figura 38. Calor específico de la mezcla de propilenglicol y agua en función de la Tª y concentración.....	112
Figura 39. Viscosidad de la mezcla en función de la Tª y la concentración .....	113
Figura 40. Coeficiente de fricción de tubería de cobre .....	116
Figura 41. Dilatación del agua en función de la Tª.....	121
Figura 42. Cámara sanitaria.....	129
Figura 43. Selección de la bomba a través del grafico de la compañía.....	147
Figura 44. Imagen de la bomba seleccionada .....	148
Figura 45. Esquema de la instalación, con la bomba a la salida de la caldera y con un sistema de control .....	148
Figura 46. Efecto invernadero de CO <sub>2</sub> .....	152

## Índice de tablas

Tabla 1. Previsiones de consumo de energía primaria en Ktep .....	4
Tabla 2. Ángulo de inclinación óptimo del colector .....	24
Tabla 3. Superficies de la vivienda. ....	53
Tabla 4. Características de la caldera de gasoil.....	56
Tabla 5. Características de acumulador 2VTCE ECO .....	60
Tabla 6. Curva de rendimiento de la bomba .....	60
Tabla 7. Datos técnicos de la caldera RTB 10KW .....	65
Tabla 8 . Características de las tuberías para suelo radiante de la compañía “wirsbo” .....	67
Tabla 9. Condiciones de servicio de los tubos de la marca “PIPEX” .....	68
Tabla 10. Certificación previa a las mejoras energéticas .....	79
Tabla 11. Certificación con las mejoras de instalaciones.....	79
Tabla 12. Resumen del presupuesto .....	80
Tabla 13. Mensualidades de T <sup>e</sup> , Tr y H.....	91
Tabla 14. Radiación solar global.....	92
Tabla 15. Contribución solar mínima de ACS .....	93
Tabla 16. Demanda de referencia a 60 °C.....	94
Tabla 17. Demanda de ACS .....	95
Tabla 18. Demanda energética de ACS .....	96
Tabla 19. Radiación incidente .....	101
Tabla 20. Factor de corrección de K .....	101
Tabla 21. Valores de radiación incidente en Cantabria.....	102
Tabla 22. Valores de la ecuación (10).....	103
Tabla 23. Cálculo de D <sub>1</sub> .....	103
Tabla 24. Cálculo de K <sub>2</sub> .....	105
Tabla 25. Cálculo de D <sub>2</sub> .....	105
Tabla 26. Cálculo de la fracción de carga mensual .....	106
Tabla 27. Aporte y demanda de ACS (KJ) .....	107
Tabla 28. Pérdidas máximas permitidas.....	108
Tabla 29. Curva de rendimiento de la bomba .....	117
Tabla 30. Longitudes equivalentes de los accesorios.....	118
Tabla 31. Longitudes equivalentes de elementos del circuito primario .....	119
Tabla 32. Espesores mínimos de aislamiento en tuberías interiores en edificios .....	122
Tabla 33. Espesores mínimos de aislamiento en tuberías exteriores en edificios.....	123

Tabla 34. Condiciones de diseño de invierno y verano.....	124
Tabla 35. Tª media y humedad relativa mensuales en Cantabria.....	124
Tabla 36. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con aire exterior	126
Tabla 37. Resistencias térmicas de cámaras de aire .....	127
Tabla 38. Transmitancia térmica del muro exterior.....	127
Tabla 39. Transmitancia térmica de la cubierta .....	128
Tabla 40. Transmitancia térmica del suelo .....	130
Tabla 41. Transmitancia térmica de las ventanas .....	132
Tabla 42. Transmitancia térmica de puertas.....	132
Tabla 43. Carga térmica de transmisión de diseño .....	135
Tabla 44. Carga térmica de transmisión mensual .....	136
Tabla 45. Caudales de ventilación mínimos exigidos por DB-HS-3 .....	137
Tabla 46. Caudales de ventilación de la vivienda.....	137
Tabla 47. Cargas térmicas de diseño por ventilación.....	138
Tabla 48. Cargas térmicas de ventilación mensuales.....	139
Tabla 49. Resumen de cargas térmicas mensuales de calefacción.....	140
Tabla 50. Longitud en metros de los circuitos de la instalacion .....	141
Tabla 51. Caudales de la instalacion .....	143
Tabla 52. Perdidas de carga para un tubo de 22 mm de diametro.....	144
Tabla 53. Abaco para el caculo de las perdidas de carga de los circuitos para una tubería de 16mm	
.....	145
Tabla 54. Perdidas de carga de los circuitos .....	146
Tabla 55. Datos técnicos de la bomba “wilo-Stratos PICO” .....	148
Tabla 56. Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	156
Tabla 57. Consumo de la vivienda, aporte de ACS de instalación solar y diferencia .....	158
Tabla 58. Precio, Incremento anual y Rendimiento de la caldera de Gasoil y Pellets .....	159
Tabla 59. Tiempo de amortización .....	161
Tabla 60. Comparativa Gasoil/Pellets .....	162

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

BILBOKO  
INGENIARITZA  
ESKOLA  
ESCUELA  
DE INGENIERÍA  
DE BILBAO

Documento 1<sup>o</sup> - Memoria

## 1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1.1.1 Antecedentes

El sistema energético actual basado en el uso de combustibles fósiles no es sostenible indefinidamente ya que las reservas son finitas y los efectos medioambientales del cambio climático se hacen cada vez más evidentes. Además, en los últimos años se ha incrementado el coste de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación. Es por estos motivos, por lo que se están desarrollando fuertemente los sistemas de producción de energía abastecidos por fuentes renovables.

Además, la idea de generar energía de manera centralizada para posteriormente ser transportada a sus lugares de consumo o destino ha dado paso a un nuevo planteamiento. Dicho planteamiento consiste en la producción de energía de forma descentralizada o distribuida, mediante múltiples alternativas de generación de energía en los puntos de consumo, minimizando de esta manera las pérdidas por transporte y mejorando la gestión de la energía.

Es en este escenario los edificios y entornos urbanos adquieren una gran importancia, ya que en ellos se concentra una alta demanda energética y disponen de gran variedad de recursos para ubicar o utilizar sistemas de generación energética. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía, el 27% de la energía consumida en España corresponde a este sector residencial, por tanto, contribuir una parte de dicho consumo mediante energías renovables supone un importante impacto en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, las energías renovables dentro del uso residencial adquieren gran peso por los siguientes motivos:

- La normativa vigente (RITE, Código técnico de la Edificación) donde se establecen los requisitos mínimos que las viviendas deben cumplir en materia de instalación de sistemas solares activos.
- La estrategia Europa 2020 para acometer el problema del cambio climático y el de la energía mediante la famosa meta 20-20-20 que consiste en reducir en 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en incrementar en 20% las energías renovables, y en disminuir en 20% el consumo de energía mediante la eficiencia energética, con el propósito de cumplir estas metas en el año 2020.

Resumiendo, la implantación de las energías renovables es un pilar básico para mejorar la eficiencia energética de edificios, junto con la mejora de la envolvente pueden llevarnos a conseguir la máxima eficiencia, el menor consumo y la reducción de emisiones, sobre todo en aquellos edificios existentes que, durante muchos años, se han construido sin ningún criterio de sostenibilidad.

No obstante, la rentabilidad y la viabilidad de la implantación de las energías renovables dependerán tanto de factores climáticos del lugar como las horas de sol, velocidad y dirección de vientos dominantes, la ubicación del edificio, el uso y mantenimiento, etc. De manera que se requiere una valoración o estudio de estos parámetros para valorar si dicha implantación será viable, estudiando el coste de la instalación, que ahorros energéticos y qué reducción de emisiones se consiguen y en qué plazos se pueden amortizar.

### **1.1.1.1 Contexto energético en España**

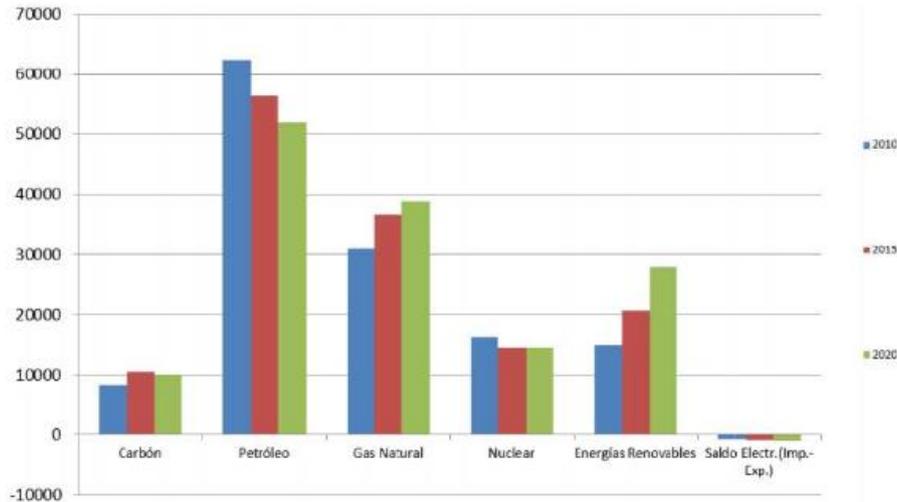
España ha visto limitado su crecimiento económico y capacidad de desarrollo debido a su pobreza en recursos energéticos y esto se ha traducido en una situación de dependencia del exterior.

España es el quinto país de la Unión europea más dependiente energéticamente, ya que importa hasta un 75% de la energía que consume, cifra muy superior a la media europea que se encuentra en 50%.

A partir del año 2005 las políticas en energías renovables y de eficiencia energética consiguen que el grado de autoabastecimiento se incremente. Esto se debe a que si se consume menos y se genera la misma energía el drago de autoabastecimiento crece.

No obstante, se hace necesario desvincular el crecimiento económico del aumento del consumo de la energía. A continuación, en la tabla 1 se muestran las previsiones de consumo de energía primaria en Ktep (toneladas equivalentes de petróleo) por fuentes hasta el año 2020.

**Tabla 1. Previsiones de consumo de energía primaria en Ktep. (Fuente [1])**



La disminución prevista de petróleo y carbón, se compensa con el aumento del gas natural y las energías renovables, mientras que la energía nuclear se mantiene. Esto se debe en parte al compromiso establecido en el plan europeo 20/20/20 de aumentar la producción de energías renovables.

Unido a la necesidad de disminuir el consumo y las emisiones en un 20% para dicho año. [1]

### **1.1.1.2 Contexto energético en Cantabria**

El plan de sostenibilidad energética de Cantabria 2011-2020 se pone de manifiesto el déficit energético de esta comunidad.

Estima un consumo anual de energía eléctrica de 5.405 GWh y una generación neta de 2.392 GWh, lo que arroja un déficit de generación de 3.013 GWh. Esto representa un 63,2% del consumo es producido fuera de Cantabria.

Dicho plan prevé para 2020 un incremento de la demanda bajo consumo del 26% por lo que el déficit de generación aumentaría al 70,8%. Entonces el plan pone de manifiesto que parte de los objetivos de disminución de consumo de energía primaria se basa en la creación de una cultura social de ahorro energético y sostenibilidad. [1]

### **1.1.1.3 Energía solar térmica aplicada en edificios**

La energía solar térmica tiene como aplicación principal la producción de agua caliente sanitaria en uso doméstico o industrial, calentamiento de agua en piscinas, calefacción a baja temperatura con suelo radiante, y también para refrigeración mediante uso de equipos de absorción.

La energía solar térmica es obligatoria en España desde la entrada en vigor del código Técnico, exigiéndose que al menos un porcentaje de la demanda total de agua caliente sanitaria se produzca mediante este sistema, dicho porcentaje según el DB HE-4 y en función de la zona climática, varía entre el 30 y el 70% en el caso general y entre el 50 y el 70% cuando la fuente energética de apoyo sea mediante electricidad.

## Ventajas y desventajas:

- Es una energía renovable, inagotable y limpia.
- Presenta un alto rendimiento de la instalación debido a que en nuestras latitudes disponemos de un elevado número de horas de radiación solar anual.
- Si el sistema de apoyo se basa en energías renovables, como por ejemplo una caldera de biomasa, se podría generar el agua caliente sanitaria y la calefacción de la manera más eficiente, sin emisiones y con una reducción del consumo de energía primaria que podría alcanzar hasta el 80%.
- Si la instalación se ha diseñado, calculado, construido y mantenido de manera adecuada, será una instalación que funcionará correctamente y con una larga vida útil, y teniendo en cuenta que su coste no es muy elevado queda más que garantizada su viabilidad.
- Como desventaja la fuente de energía del sol es variable de manera que puede bajar su rendimiento.
- Requiere un mantenimiento continuo, el cual es vital para el correcto funcionamiento de la instalación, un mal mantenimiento reduce el rendimiento de los paneles, siendo recomendable limpiarlos al menos una vez cada 6 meses, así como la revisión periódica de los elementos y valvulería de la instalación. [2]

#### **1.1.1.4 Energía de la biomasa aplicada en edificios**

La energía de la biomasa utiliza como materia prima los pellets, los restos de la poda, huesos de oliva, las cáscaras de almendras, (generalmente residuos de actividades agrícolas y forestales o subproductos de la transformación de la madera) para generar energía térmica para agua caliente sanitaria y calefacción.

Existen también otros tipos de biomasa húmeda procedente de la fabricación de aceites vegetales entre la que se encuentra los biocombustibles como el biodiesel o etanol, que sobre todo son eficientes para calderas de cogeneración con tecnologías tipo Stirling, pero en este caso me remitiré a la biomasa sólida.

En el caso de viviendas unifamiliares o edificios de viviendas, se consigue obtener un elevado ahorro energético y gran eficiencia con la implantación de calderas de biomasa, para generar calor para agua caliente sanitaria y calefacción.

#### **Ventajas y desventajas:**

- La tecnología es análoga a la de calderas de combustible fósil y los equipos no son excesivamente caros.
- Se considera que tiene una emisión nula de dióxido de carbono.
- Los pellets resultan mucho más rentables que otros combustibles como el gasóleo o el propano, esta relación determina su amortización.
- La biomasa tiene un poder calorífico inferior al de los combustibles fósiles, por lo que, se necesita mayor cantidad para obtener la misma energía.

- En algunos tipos de caldera se necesita combustible procesado, por ello es necesario comprar el combustible a un tercero especializado, ya que es posible que biomasa sin procesar no sea aceptada por el mecanismo alimentador.
- No se integra fácilmente en el conjunto arquitectónico de la vivienda y ha de situarse en un local especialmente habilitado para ella. [2]

### **1.1.2 Objeto del proyecto**

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio de la eficiencia energética y rehabilitación energética basándonos en los aspectos técnicos y económicos que afectan al consumo de energía en una vivienda unifamiliar situada en Castillo Siete Villas, un pueblo que pertenece al municipio de Arnuero (Cantabria).

La rehabilitación energética se llevará a cabo mediante el empleo de dos fuentes de energías renovables, energía solar térmica y caldera de biomasa y el apoyo de un sistema de suelo radiante para su uso. El proyecto está encaminado a lograr el ahorro energético, tanto en la climatización como en la producción de agua caliente sanitaria (ACS). La principal ventaja en el empleo de estas tecnologías es la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la vivienda y la optimización de los consumos de energía.

Para lograrlo, emplearemos como alternativa principal la energía solar térmica en la demanda de ACS y, por otro lado, se utilizará la energía de Biomasa para suministrar la energía demandada en la calefacción de la vivienda.

Una vez aplicadas las medidas se volverá a calificar la vivienda mediante el programa CE3X y así, estimar las mejoras obtenidas y generar su nueva clasificación energética. Por otro lado, se realizará un estudio económico y de viabilidad donde se calculará el tiempo de amortización de las medidas llevadas a cabo y una comparativa de los consumos, demandas y emisiones de CO<sub>2</sub> antes y después de la rehabilitación energética.

### 1.1.2.1 Alcance del proyecto

El alcance del siguiente proyecto que se va a desarrollar en esta vivienda es el siguiente:

- Calcular y dimensionar una instalación solar térmica para cubrir un cierto porcentaje de la demanda de ACS de la vivienda, se dimensionará toda instalación del circuito primaria.
- Calcular las necesidades de la vivienda y de esta manera, realizar una sustitución de la caldera de gasoil por una de biomasa. Se cambiará el sistema de distribución de calefacción actual mediante radiadores, por un nuevo sistema de suelo radiante.
- Se realizará un estudio económico de las instalaciones propuestas con el fin de saber la viabilidad del proyecto y, de esta manera, el periodo de amortización.
- Se realizará un estudio medioambiental, donde se calculará la reducción de gases contaminantes a la atmosfera.
- Se realizará la certificación antes y después de las instalaciones propuestas a las viviendas, para una comparación de los cambios realizados.
- Por último, se verificará que los resultados obtenidos de dichos estudios cumplan la nueva normativa vigente, de las cuales las más importantes son las establecidas tanto en el CTE como en el RITE.

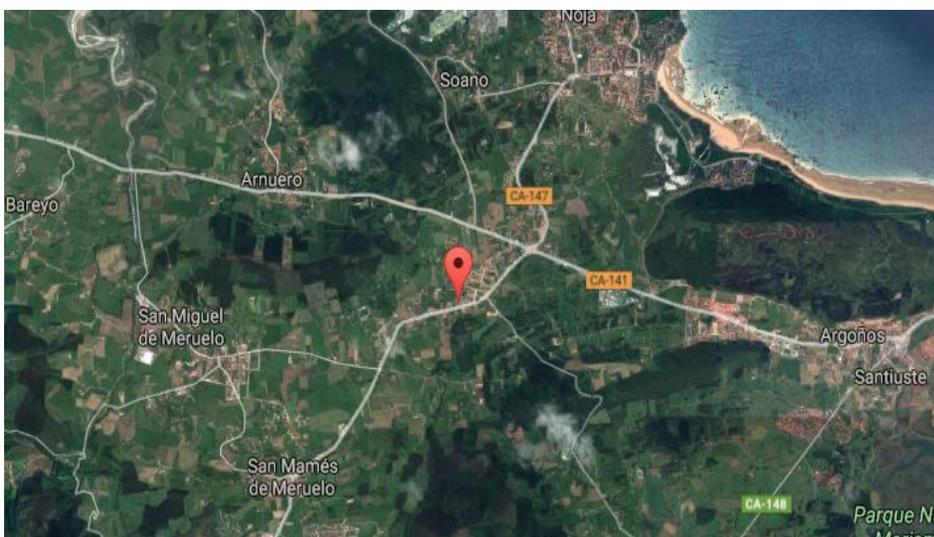
### 1.1.3 Situación y emplazamiento

La vivienda unifamiliar está situada en Castillo, un pueblo que pertenece al municipio de Arnüero (norte de Cantabria) y delimita con el mar Cantábrico en el norte. La dirección exacta es barrio San Pantaleón 29.

Las coordenadas geográficas son las siguientes:

- Latitud: 43°27'27"N
- Longitud: 3°33'02"O

La altitud de la localidad es de 56 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 1. Ubicación del pueblo castillo**



**Figura 2. Ubicación de la vivienda**

### **1.1.3.1 Clima de Cantabria**

El clima de Cantabria disfruta del efecto moderador de la Corriente del Golfo. Tanto la costa como la montaña comparten un clima atlántico húmedo, con abundantes y persistentes precipitaciones a lo largo del año entre los 1.000 y 1.200 mm.

Las temperaturas en la región no suelen superar valores máximos de 30°C con medias que se mantienen por debajo de los 20°C. El espectro de temperaturas se sitúa entre los 8 y los 15°C.

Por lo tanto, se disfruta de un clima templado con temperaturas estables a lo largo del año. Los inviernos no suelen ser excesivamente fríos y es raro que descendan a valores negativos, teniendo unas medias de 10°C. Del mismo modo durante el verano estas no suelen sobrepasar los 30°C, estando por lo regular próximas a los 20°C. [4]

#### **1.1.4 Estudio de alternativas**

##### **1.1.4.1 Instalación solar térmica para ACS**

En la actualidad, una medida para aumentar la eficiencia energética de una vivienda es aprovechar la energía solar mediante la conversión de esta en energía térmica en forma de aporte de temperatura a un fluido.

Esto se consigue por medio de captadores solares, ya que éste es un elemento que, expuesto a la radiación solar, absorbe su energía y la transmite a un fluido en forma de calor para su aprovechamiento.

Existen tres técnicas diferentes en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora:

- **Baja temperatura:** Captación directa, la temperatura del fluido está por debajo del punto de ebullición.
- **Media temperatura:** Captación de bajo índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 100 °C.
- **Alta temperatura:** Captación de alto índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada.

El presente proyecto se centrará en la captación directa, es decir, instalaciones de baja temperatura que no superan los 80 °C, ya que son las técnicas más aplicadas en usos domésticos y como se describe en el objeto del proyecto, la instalación de energía solar térmica se destina a la producción de ACS de la vivienda.

Esta producción de ACS mediante instalaciones de aprovechamiento solar térmico es una de las aplicaciones más extendidas, gracias a sus beneficios de ahorro energético que oscilan un 70% de las necesidades térmicas de la vivienda, además de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la disminución del consumo de combustible.

Por otra parte, es de obligado cumplimiento según el CTE, salvo que se sustituya por otra energía renovable.

#### **1.1.4.1.1 Funcionamiento**

Los sistemas de captación solar se basan en la combinación del efecto de un cuerpo negro con el efecto invernadero (un ejemplo puede ser el efecto que se experimenta al entrar en un coche aparcado al sol).

El sol incide sobre el vidrio del colector, que, siendo transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o infrarrojos. Pero como el vidrio es opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior.

Al paso por la caja, el fluido caloportador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica al depósito de acumulación mediante el empleo de un intercambiador de calor como se puede observar en la figura 3.

[5]

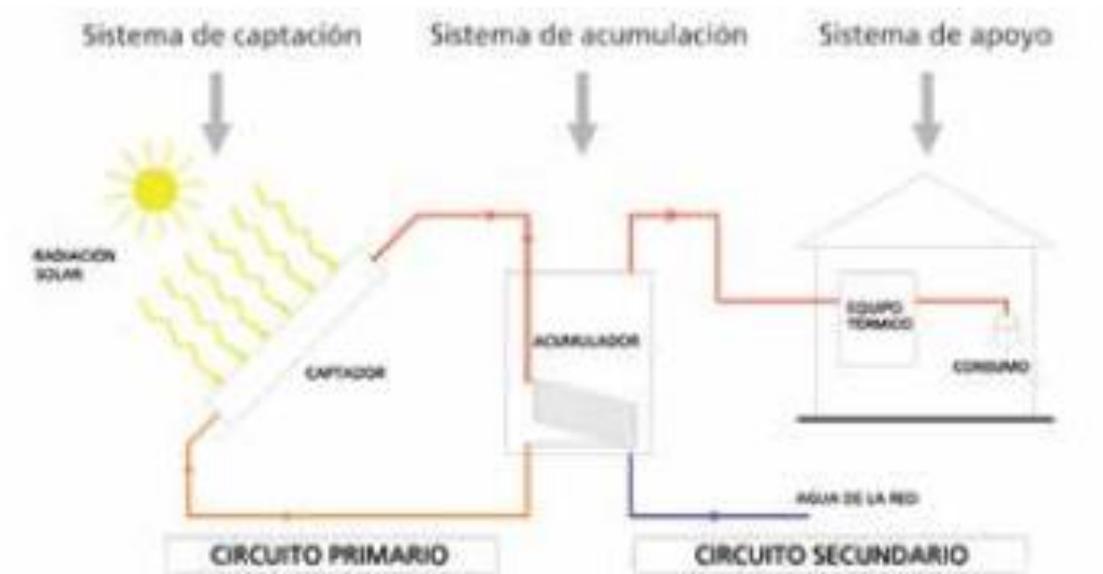


Figura 1. Esquema básico para una instalación solar térmica para ACS. (Fuente [6])

#### 1.1.4.1.2 Elementos de la instalación solar térmica

En general, una instalación solar térmica suele estar formada por los siguientes subsistemas:

- **Subsistema de captación:** está formado por uno o varios colectores conectados entre sí y se encargan de recibir la energía del sol y transmitirla al fluido caloportador.
- **Subsistema de acumulación:** formado por uno o más depósitos de almacenamiento de agua caliente para adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía solar y la demanda térmica.
- **Subsistema de distribución:** formado por el equipo de regulación, tuberías, bombas, elementos de seguridad, etc., que traslada el agua caliente producida hacia los puntos de consumo.

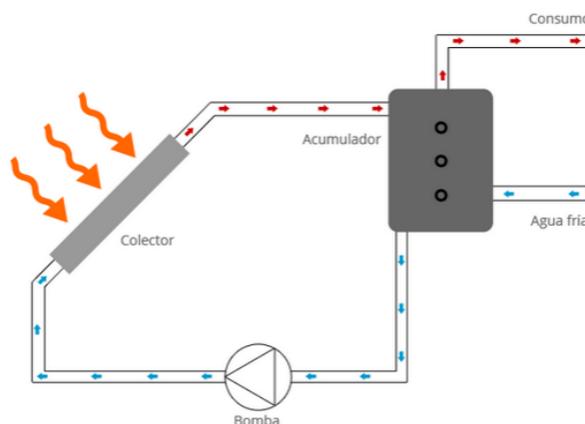
- **Subsistema auxiliar:** una caldera o calentador convencional que entra en funcionamiento para apoyar a los colectores solares cuando la temperatura del agua de salida del acumulador es inferior o insuficiente a la requerida por su demanda.

Las instalaciones de energía solar térmica deben disponer de un sistema de energía convencional auxiliar. Dicho sistema se diseña como si la contribución solar aportada fuera nula, aunque sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario.

Entre el subsistema de captación y el subsistema de almacenamiento puede existir o no un intercambiador de calor dependiendo de si se trata de una instalación de circuito abierto o de circuito cerrado.

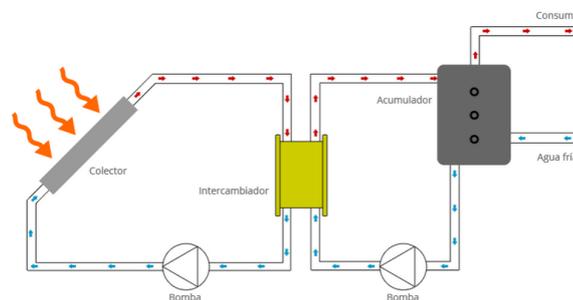
Según el sistema de transferencia de calor utilizado puede ser:

- **Instalaciones de transferencia directa o de circuito abierto,** donde no hay intercambiador de calor puesto que el propio fluido que circula por los colectores es el que luego se dirige al depósito para su posterior utilización.



**Figura 2. Instalaciones de transferencia directa. (Fuente [7])**

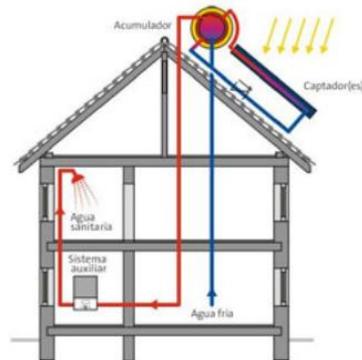
- **Instalaciones de transferencia indirecta o de circuito cerrado**, donde existen dos circuitos perfectamente diferenciados (el primario y el secundario) y comunicados entre sí por un intercambiador de calor. En este caso, el circuito primario está constituido por los colectores y la bomba de impulsión en caso de que la necesite, y por él circula el fluido caloportador. Este calor es cedido al circuito secundario a través de un intercambiador, que está formado por el depósito de acumulación y su correspondiente bomba.



**Figura 3. Instalaciones de transferencia indirecta. (Fuente [7])**

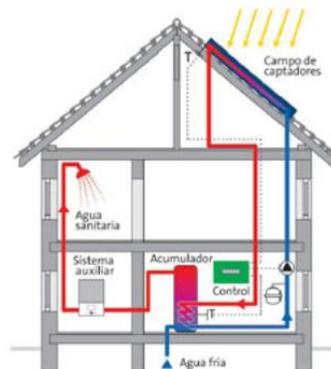
En ambos casos se ha de asegurar la circulación del fluido a través del circuito, la cual se puede realizar de dos maneras:

- **Instalaciones con circulación natural o con termosifón:** dónde el depósito debe colocarse en un nivel superior a los colectores para permitir la convección por diferencia de temperatura. Para facilitar el movimiento del agua tiene que haber una diferencia suficiente de temperatura entre el colector y el acumulador y una altura entre el acumulador y los colectores mayor de 30 centímetros. Este tipo de sistema se utiliza en áreas geográficas con climas cálidos y en instalaciones solares pequeñas.



**Figura 4. Instalaciones con circulación natural. (Fuente [8])**

- **Instalaciones con circulación forzada:** necesitan una bomba de impulsión para transportar el fluido de los colectores al depósito de acumulación. Este tipo de instalación se aplica en climas fríos, donde cualquier pérdida de calorías puede restar eficacia a la instalación.



**Figura 5. Instalaciones con circulación forzada. (Fuente [8])**

#### **1.1.4.1.2.1 Colector solar**

Es la parte de la instalación encargada de captar la energía proveniente del sol y transmitirla al fluido caloportador. Es el componente más importante de una instalación de energía solar térmica y es el elemento diferenciador con respecto a una instalación convencional de producción de calor. Del correcto dimensionado del sistema de captación va a depender el rendimiento general de la instalación y el buen funcionamiento de la misma.

De forma general se distinguen tres tipos de captadores solares: planos, de polipropileno y de vacío. A continuación, se detallan las características de cada uno de ellos y sus distintas aplicaciones. El tipo más utilizado, tanto para la producción de ACS como para usos industriales, es el colector solar plano, del cual existen muchas variantes.

##### **1.1.4.1.2.1.1 Colectores de polipropileno**

Los colectores de polipropileno se componen de una gran cantidad de diminutos tubos de vidrio de dicho material por los que circula el agua a calentar. Están especialmente recomendados para el calentamiento de piscinas exteriores en temporada de verano, ya que su temperatura de trabajo es del orden de 25-35 °C, y no poseen ningún tipo de cubierta exterior, aislante, ni carcasa, por lo que las pérdidas son grandes, lo que limita su aplicación a otro tipo de instalaciones. Debido a su composición, estos colectores toleran bien el paso de aguas agresivas (agua de piscina clorada), pero aguantan mal las tensiones mecánicas (heladas), y los rasguños superficiales. Su precio oscila entre 60 y 90 €/m<sup>2</sup>. [9]



**Figura 6. Colector de polipropileno. (Fuente [10])**

#### **1.1.4.1.2.1.2 Colectores de tubos de vacío**

Los colectores de tubos de vacío poseen un mejor rendimiento y proporcionan mayores temperaturas que los colectores de placa plana, pudiendo llegar a temperaturas cercanas a los 100 °C. Por ello, la aplicación más habitual de este tipo de colectores es el calentamiento de agua para su aprovechamiento en procesos industriales, en instalaciones de calefacción por radiadores convencionales, y en instalaciones de refrigeración por medio de máquinas de absorción. Los principales inconvenientes que presentan estos colectores frente a los de placa plana son su elevado precio, la mayor laboriosidad y cuidado que requiere su montaje, y su menor robustez. Su coste oscila entre 500 y 600 €/m<sup>2</sup>. [9]

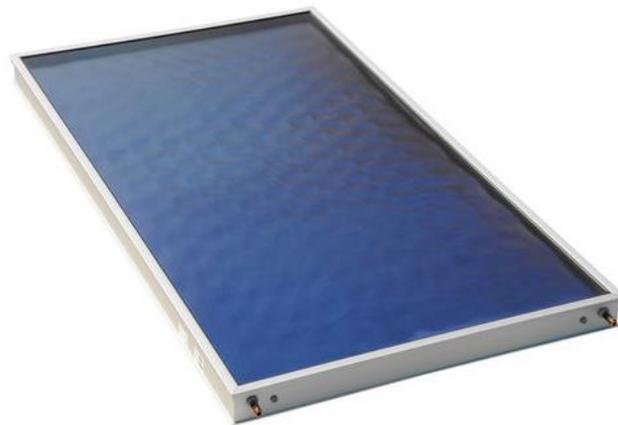


***Figura 7. Colector de tubos d vacío. (Fuente [11])***

Estos colectores están formados por 10-20 tubos de vidrio en cuyo interior se ha hecho el vacío. En el interior de cada tubo de vidrio hay una tubería de cobre soldada a una placa rectangular, que absorbe la radiación solar y cede calor al fluido que circula por la tubería. Al igual que los colectores de placa plana, el funcionamiento se basa en el efecto invernadero que se produce cuando la radiación solar atraviesa un vidrio. La diferencia, en este caso, está en que no se requiere de un material aislante, ya que el propio vacío de los tubos elimina casi totalmente las pérdidas térmicas hacia el exterior del vidrio. Por ello, su rendimiento es siempre superior al de los colectores de placa plana.

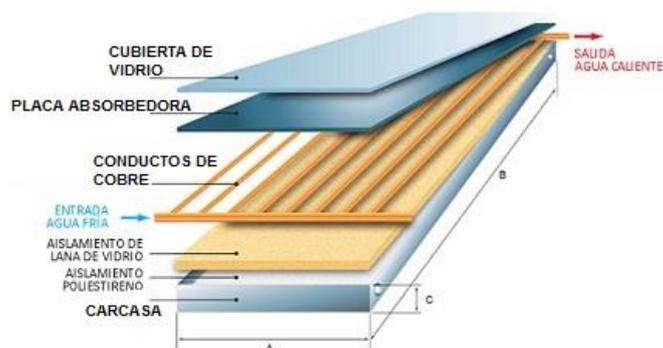
### 1.1.4.1.2.1.3 Colectores de placa plana

Los colectores de placa plana son en la actualidad los más extendidos comercialmente. Su temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 50-70 °C, por lo que están indicados para producir agua caliente para diversas aplicaciones: ACS, calefacción por suelo radiante, etc. Su precio es del orden de 180-240 €/m<sup>2</sup>. [9]



**Figura 8. Colector de placa plana. (Fuente [12])**

Los principales elementos que constituyen un colector de placa plana son los siguientes:



**Figura 9. Corte transversal de un colector de placa plana. (Fuente [13])**

- **Cubierta exterior**

Formada habitualmente por un cristal de vidrio simple de 4-6 mm de espesor, aunque también pueden encontrarse cubiertas con cristal doble o incluso con materiales plásticos. Su función es producir el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección, y proporcionar estanqueidad al colector.

- **Absorbedor**

Suele estar constituido por una placa metálica sobre la que se encuentra soldada una tubería de cobre formando un serpentín, favoreciendo el intercambio de calor entre la placa y el fluido circulante. La función de la placa es absorber la máxima radiación solar posible y ceder el calor acumulado al serpentín. Por ello, la superficie de la placa expuesta al sol se encuentra recubierta de pintura negra o bien ha sido sometida a un tratamiento especial mediante deposición de óxidos metálicos (óxido de titanio, óxido de cromo, etc.), que, en general, dan un mejor resultado que las pinturas.

- **Aislante térmico**

Es el material que recubre todos los laterales y la parte posterior del colector, y tiene por objeto minimizar las pérdidas a través de la carcasa. El material utilizado puede ser de lana de vidrio, poliuretano, etc., con un espesor variable dependiendo del diseño del colector.

- **Carcasa**

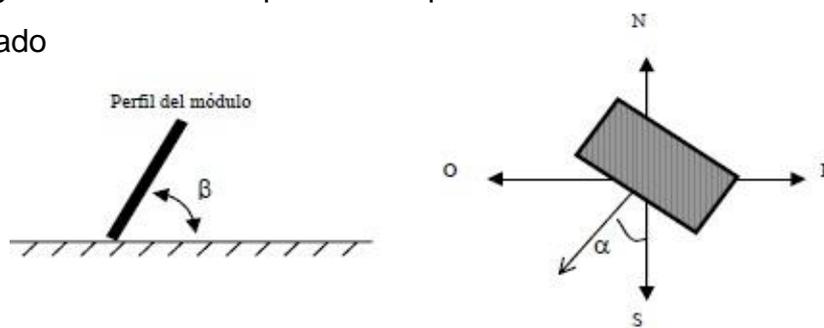
Es la caja exterior que alberga todos los componentes anteriores, proporcionando rigidez al colector y realizando el sellado de su interior. Generalmente suele ser de aluminio con algún tratamiento anticorrosión (anodizado), debido a su poco peso.

#### 1.1.4.1.2.1.4 Orientación e Inclinación

El ángulo de orientación y el ángulo acimutal son los dos parámetros principales que se han de tener en cuenta a la hora del montaje de los captadores solares de la instalación.

##### Ángulo de inclinación

El ángulo de inclinación  $\beta$  es el comprendido entre la horizontal y el colector instalado



**Figura 12. Orientación e Inclinación del colector**

El absorbedor consigue la mayor cantidad de energía cuando el colector está orientado en ángulo recto con los rayos procedentes del sol. Como el ángulo de irradiación depende de varios factores como pueden ser la hora del día o la estación del año, los colectores deben orientarse en correspondencia con la altura del sol durante el período de mayor radiación solar.

En la tabla 2 se muestra la inclinación óptima establecida en el CTE, para los colectores solares según el período de utilización:

**Tabla 2. Ángulo de inclinación óptimo del colector. (Fuente [9])**

Período de utilización	Ángulo de inclinación
Todo el año	Latitud del lugar
Preferentemente invierno	Latitud del lugar + 10º
Preferentemente verano	Latitud del lugar - 10º

### Ángulo de inclinación

El ángulo acimutal  $\alpha$  muestra la desviación que representa la recta perpendicular al colector con respecto a la dirección Sur, es decir, cuando el plano de los colectores está orientado totalmente hacia el Sur, el ángulo acimutal es de 0º.

Como la irradiación procedente del sol es muy intensa durante el mediodía, el colector solar debe estar orientado lo más posible al Sur, para aprovechar mejor la alta radiación solar disponible en ese momento del día.

#### **1.1.4.1.2.1.5 Soporte de colector solar**

Una vez establecidos los ángulos de inclinación y orientación de los colectores solares de la instalación, calculada la distancia mínima entre los colectores e identificadas las posibles pérdidas por sombras, se procede a diseñar el anclaje y soporte de los colectores.

La solución propuesta debe garantizar rapidez de montaje, seguridad en el anclaje y una firme sujeción. Además, el diseño y construcción del sistema de fijación de los colectores deben permitir las posibles dilataciones térmicas, sin

transferir cargas que puedan afectar a la integridad de los colectores o al circuito hidráulico.

El tipo de anclaje dependerá tanto de su ubicación como de las fuerzas a las que se encuentre sometido. Las indicaciones acerca de las características de la estructura del soporte que se pueden destacar son las siguientes:

- Se aconseja no traspasar con el anclaje la cubierta del edificio, porque puede ocasionar infiltración de agua o goteras. Lo más aconsejable es construir muros de hormigón armado colocados sobre la cubierta (sin traspasarla).
- La dimensión mínima del muro de hormigón (armado con varilla metálica) debe ser 20 x 20 cm y los últimos anclajes de cada fila de captadores han de estar a 25 cm del extremo del muro.
- La estructura de soporte deberá estar protegida contra la corrosión. Para ello, lo normal es emplear una estructura de acero inoxidable o acero galvanizado.
- Todos los tornillos utilizados han de ser de acero inoxidable u otro material similar que sea resistente a la corrosión.

#### **1.1.4.1.2.2 Sistema de acumulación**

La necesidad de energía siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del sol, por lo que es necesario disponer de un sistema de acumulación que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar, así como la producción solar en momentos de poco o nulo consumo.

Para los sistemas solares térmicos se utiliza un depósito acumulador donde se almacena energía en forma de agua caliente.

En instalaciones de tamaño pequeño o medio el depósito conduce el agua de consumo, pero en las grandes instalaciones se sitúan depósitos intermedios de inercia, cuya situación es almacenar la energía térmica se transferirá posteriormente al ACS, con la ventaja de un menor coste al no requerir calidad sanitaria.

### **Tipos de acumuladores:**

El calentamiento del agua se realiza mediante intercambiadores de calor que pueden ser exteriores o estar incorporados en el interior de los acumuladores, resultando así dos tipos principales.

Un condicionante importante es el establecido en el CTE que prohíbe el uso de sistemas de energía convencional auxiliar en el circuito primario de captadores, por considerar que la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalación.

Lo expuesto niega la posibilidad de conectar acumuladores de doble serpentín en circuito primario, pudiendo utilizar no obstante en el secundario.

A pesar de que el CTE dice que el sistema de acumulación solar debe estar constituido preferentemente por un solo depósito, el cual será de configuración vertical y estará ubicado en zonas interiores, el volumen de acumulación podrá fraccionarse en dos o más depósitos que se conectaran preferentemente en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados.

La utilización de acumuladores verticales tiene la ventaja de favorecer la estratificación del agua (el agua a mayor temperatura se sitúa en la parte superior de acumulador y el agua a menor temperatura en la parte inferior).

En los casos de calderas individuales, la opción más habitual es distribuir el volumen de acumulación en todos los usuarios, de forma que la relación con la caldera instantánea sea lo más próxima posible. Una opción intermedia para viviendas grandes con mucho volumen de acumulación es la acumulación mixta en la que el volumen se divide entre un acumulador centralizado y otros de menor volumen en cada vivienda. En este caso, el acumulador centralizado suele ser de inercia para evitar la instalación de contadores divisionarios para ACS.

Además de la propia forma, las condiciones para lograr una buena estratificación se consiguen mediante la buena disposición de las conexiones de entrada y salida que se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

El acumulador debe estar contraído con los materiales indicados en el CTE y enteramente recubierto con material aislante. Su espesor debe ser el indicado por el RITE y se recomienda disponer de una protección mecánica en chapa pintada al horno, plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), o lamina de material de plástico.

#### **1.1.4.1.2.3 Intercambiador de calor**

El intercambiador de calor en una instalación solar se coloca cuando se quiere transferir el calor de un fluido a otro, sin que estos se mezclen, independizando de esta manera los dos circuitos. Cuando este existe, se encarga de transferir la energía captada en los captadores, que contienen agua con anticongelante pues se instalan en la intemperie, al agua sanitaria del acumulador.

Los intercambiadores utilizados en una instalación solar son intercambiadores, liquido-liquido, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

Según su posición en la instalación:

- Interiores.
- Exteriores.

Según su construcción:

- De serpentín helicoidal.
- De haz tubular.
- De doble envolvente.
- De placa.

1. Deposito sin intercambiador incorporado.

En este caso el calentamiento del agua acumulada se produce en el exterior del depósito, mediante su recirculación a través de un intercambiador externo.

2. Deposito con intercambiador incorporado o acumulador.

El calentamiento y la acumulación del agua se producen en el mismo depósito, que incorpora su propio intercambiador, que generalmente es un serpentín.

#### **1.1.4.1.2.4 Fluido caloportador**

El fluido de trabajo en el circuito primario tiene la misión de absorber la energía que recibe el captador para cederla posteriormente al acumulador.

Los fluidos empleados deben cumplir las siguientes características:

- Ser resistentes a las temperaturas de trabajo.
- Tener un calor específico elevado y una buena conductividad térmica, para ser capaces de realizar el transporte y la transferencia de calor.
- Tener baja viscosidad, para evitar pérdidas de carga excesivas.

- No ser tóxicos.
- Tener un coste bajo.

Pueden utilizarse como fluidos en el circuito primario agua de la red, agua desmineralizada o agua con aditivos, según las características climatológicas de la zona y de la calidad del agua empleada. En caso de utilizar otros fluidos térmicos se incluirán en el proyecto su composición y su calor específico.

El agua es un fluido excelente para este uso, con la salvedad de su alta capacidad de congelación, por lo que se utilizan mezclas de agua con anticongelantes, con el inconveniente de la posible toxicidad de estos últimos.

El fluido de trabajo tendrá un pH a 20°C de entre 5 y 9, y un contenido en sales que se ajustará a:

- La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/L totales de sales solubles. En caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/L, expresados como contenido en carbonato cálcico.
- El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/L.
- Fuera de estos valores el agua debe ser tratada. [9]

El CTE también establece que la instalación estará protegida con un producto químico o no tóxico cuyo valor específico será superior o igual a 3 KJ/Kg K, en 5°C por debajo de la mínima histórica registrada con objeto de no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas. Adicionalmente, este producto químico mantendrá todas sus propiedades físicas y químicas dentro de los intervalos mínimo y máximo de temperatura permitida por todos los componentes y materiales de la instalación

El anticongelante más utilizado actualmente es el glicol, o sus derivados etilenglicol y propilenglicol. Estos anticongelantes producen un aumento de la viscosidad del fluido, un menor calor específico de la mezcla respecto al agua y resulta contaminante para el agua en caso de vertido a la red, aunque no se considera tóxico para los alimentos.

El CTE también permite utilizar otro sistema de protección contra heladas que, alcanzando los mismos niveles de protección, sea aprobado por la Administración Competente.

#### **1.1.4.1.2.5 Red de tuberías**

Todos los componentes de la instalación se encuentran unidos mediante las tuberías, que son el elemento lineal hueco, abierto por sus extremos, que realiza el transporte de los fluidos, configurando el circuito hidráulico.

En cualquier instalación solar térmica existirán al menos dos circuitos hidráulicos, el primario, del que forman parte los colectores y el intercambiador de calor, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite al depósito de acumulación, y el secundario en el que se recoge la energía transferida desde el circuito primario hasta el sistema de energía convencional auxiliar.

La diferenciación de estos circuitos es muy importante porque tienen requerimientos muy distintos, especialmente térmicos, por lo que puede ser necesario utilizar distintos materiales.

Los materiales usados son: cobre, hierro galvanizado, hierro negro y plástico:

- **Cobre:** Es un material ampliamente utilizado en instalaciones de todo tipo, siendo el más aconsejable para instalaciones de energía solar, por ser técnicamente idóneo y económicamente muy competitivo. A igualdad de diámetro, la pérdida de carga es más baja que la de otros materiales como

el hierro, por lo que se pueden usar diámetros menores para transportar la misma cantidad de líquido.

- Acero galvanizado: Según la restricción del apartado 3.2.2 de la sección HE4, si la instalación debe permitir que el agua alcance una temperatura de 60°C, no se admitirá la presencia de componentes de acero galvanizado.
- Acero negro: Solo se debe utilizar en instalaciones que requieran grandes caudales, y únicamente en circuito primario, puesto que no está permitido su uso en la conducción de ACS. por sufrir oxidaciones que perjudican la potabilidad del agua.
- Tuberías de plástico: Tienen cualidades semejantes a las del cobre y su uso se está generalizando cada vez más.

En cualquier caso, las tuberías deben estar convenientemente aisladas para evitar un menor rendimiento de la instalación a consecuencia de las pérdidas térmicas.

#### **1.1.4.1.2.6 Aislamiento**

El aislamiento es fundamental en una instalación de energía solar térmica para evitar pérdidas caloríficas hacia el exterior. Se emplea aislamiento en cuatro lugares:

- En el captador, parte posterior y lateral del mismo.
- En el acumulador.
- En las tuberías.
- En el intercambiador.

#### 1.1.4.1.2.7 Bombas

Las bombas de circulación son dispositivos accionados por un motor eléctrico, capaces de suministrar a un fluido la energía suficiente para transportarlo a través de un circuito, venciendo las pérdidas de carga existentes en el mismo.

El DB HE4 indica que las instalaciones se realizaran con un circuito hidráulico primario y un circuito secundario independiente, con un producto químico anticongelante en la instalación. Cada circuito hidráulico está constituido por un conjunto de tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encargan de establecer el movimiento del fluido.

Los circuitos se definen como:

- Circuito primario: circuito del que forman parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.
- Circuito secundario: circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida a los puntos de consumo.
- Circuito de consumo: circuito por el que circula el agua de consumo.

El circuito hidráulico debe ser, de por sí, equilibrado, esto es que sus distintos ramales tengan una pérdida de carga igual o muy parecida, evitando de esta manera recorridos preferentes que originaran caudales distintos a lo previsto, y si esto no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado. En cualquier caso, se recomienda el retorno invertido para la conexión entre captadores y entre filas,

El dimensionado de las tuberías del circuito primario se realiza de la forma habitual que se emplean en cualquier circuito hidráulico, según las leyes de la dinámica de fluidos en los tubos de sección constante.

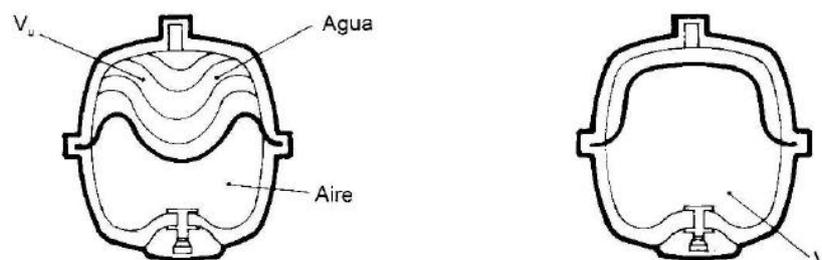
En cuanto al diseño de los tramos hay que considerar que, con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de las tuberías del sistema debe ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

Es importante evitar la formación de bolsas de aire, para ellos los tramos horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en el sentido de la circulación.

#### 1.1.4.1.2.8 Vaso de expansión

La función del vaso de expansión es compensar los cambios de volumen del fluido de trabajo ocasionados por la dilatación térmica, evitando el escape de fluido a través de la válvula de seguridad cuando este se calienta. Al calentarse el circuito primario, una parte del fluido entra en el vaso de expansión, regresando al circuito cuando se enfría, manteniendo así la presión en el circuito dentro del rango de presiones admisibles y siempre por encima de la atmosférica, impidiéndose la introducción de aire en el circuito cuando vuelva a enfriarse.

El vaso de expansión utilizado en instalaciones de circuito cerrado es un recipiente cerrado formado por dos semicuerpos fabricados por embutición y soldados entre sí. En el semicuerpo inferior hay una válvula para controlar la presión en el interior del vaso. Entre los dos semicuerpos se coloca una membrana interior que suele ser de caucho sintético y que separa el aire y el líquido.



**Figura 10. Funcionamiento de un vaso de expansión cerrado. A la izquierda, funcionamiento en caliente. A la derecha, en frío**

Según el apartado 3.3.5.4 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba. La altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

#### **1.1.4.1.2.9 Válvulas**

Las válvulas son mecanismos que se utilizan para impedir o controlar el paso del fluido por una tubería. Las válvulas destinadas a cerrar o abrir el paso se llaman también llaves, y las que están colocadas en los puntos de consumo se llaman grifos.

El apartado 3.4.6, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que la elección de las válvulas se realizara, de acuerdo con la función que desempeñen y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura) siguiendo preferentemente los criterios que se citan a continuación:

- a) Para aislamiento: válvulas de esfera.
- b) Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- c) Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- d) Para llenado: válvulas de esfera.
- e) Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- f) Para seguridad: válvulas de resorte.
- g) Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

#### **1.1.4.1.2.10 Purgadores y Desaireadores**

Los purgadores son dispositivos que se instalan en los circuitos para dejar salir el aire que pueda haberse introducido en las tuberías. La presencia de aire perjudica el buen funcionamiento de los circuitos, especialmente cuando se concentra en forma de bolsas que pueden llegar a impedir la circulación del fluido y provocar corrosiones en la tubería o los colectores.

Los purgadores pueden ser de dos tipos:

- De accionamiento manual, en los que se acumula el aire, pero no sale hasta que se afloja la válvula existente.
- De accionamiento automático, que dejan salir el aire cuando se acumula una cierta cantidad.

También pueden montarse desaireadores, que son dispositivos que originan una perturbación del flujo del fluido, favoreciendo la separación del aire, que se acumula en su parte superior donde se sitúa un purgador para su extracción.

El apartado 3.3.5.5 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se deben colocar sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm<sup>3</sup>. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático. También especifica que, en el caso de utilizar purgadores automáticos, se colocaran adicionalmente los dispositivos necesarios para la purga manual.

El apartado 3.4.8 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, indica que se evitara el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Por ello se recomienda utilizar purgadores manuales para el circuito primario, ya que existe la posibilidad de formación de vapor.

En los restantes circuitos, donde se instalen purgadores automáticos, el mismo apartado 3.4.8 establece que deben soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador y en cualquier caso hasta 130°C en las zonas climáticas I, II y III y hasta 150°C en las zonas climáticas IV y V.

#### 1.1.4.1.2.11 Otros accesorios

- **Termómetros**

Son instrumentos que miden la temperatura de un objeto o fluido. Hay que colocarlos de forma que el punto sensible del termómetro esté en contacto con el fluido, pero sin estar bañado por éste.

Existen dos tipos de termómetros: de contacto y de inmersión. En instalaciones de energía solar se utilizan los termómetros de inmersión cuyo bulbo se aloja dentro de una vaina.

- **Termostatos:**

Los termostatos transforman una lectura de temperatura, previamente determinada en su escala, en una señal eléctrica que pone en marcha o detiene un determinado mecanismo, según la función que se le haya encomendado.

- **Manómetro:**

Son aparatos que miden el valor de la presión del fluido en un conducto o depósito. El manómetro mide la presión en  $\text{kg/cm}^2$ , y el hidrómetro en metros de columna de agua (m.c.a).

El manómetro se utiliza cuando el circuito está presurizado y el hidrómetro cuando no lo está. [14]

#### 1.1.4.1.2.12 Sistema de control

El sistema de regulación y control se define como uno de los que conforman la instalación solar térmica para ACS en el apartado 3.2.1, de la Sección HE4, del DB HE del CTE, con la misión, por un lado, de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, de actuar como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.

Las funciones se detallan en el apartado 3.3.7, *Sistema de control*, que dice:

- El sistema de control asegurara el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas, etc.
- En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuara y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.

- Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si este fuera incorporado.
- El sistema de control asegurara que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
- El sistema de control asegurara que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superiores a la de congelación del fluido.
- Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
- Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

#### **1.1.4.1.2.13 Sistema de apoyo auxiliar**

La contribución energética de una instalación solar térmica a la demanda depende de la cantidad de radiación que el captador reciba, por lo que no siempre es posible ajustar en el tiempo la producción de la demanda ya que este depende directamente de dicha radiación.

Para intentar paliar este problema se acumula la energía captada en forma de agua caliente, en depósitos hasta su posterior consumo.

Dado que, aun así, no siempre es posible almacenar agua en cantidad suficiente o a la temperatura deseada para consumo, estas instalaciones siempre deben de contar con un generador térmico conectado de tal forma, que cuando no es posible aportar mediante el sistema solar suficiente energía para satisfacer los consumos, éste aporte la energía restante. Al generador se le suele llamar sistema de apoyo convencional y es el que se necesita para el funcionamiento normal de la instalación, incluso sin el funcionamiento de la energía solar.

El CTE también marca unas pautas en lo que al sistema de apoyo auxiliar se refiere en el punto 3.3.6 Sistema de energía convencional auxiliar:

- Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía convencional auxiliar.
- Queda prohibido el uso de sistemas de energía convencional auxiliar en el circuito primario de captadores.
- El sistema convencional auxiliar se diseñará para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación.
- El sistema de aporte de energía convencional auxiliar con acumulación o en línea, siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con la legislación vigente en cada momento referente a la prevención y control de la legionelosis.

- En el caso de que el sistema de energía convencional auxiliar no disponga de acumulación, es decir sea una fuente instantánea, el equipo será modulante, es decir, capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente con independencia de cuál sea la temperatura del agua de entrada al citado equipo.
- En el caso de climatización de piscinas, para el control de la temperatura del agua se dispondrá una sonda de temperatura en el retorno de agua al intercambiador de calor y un termostato de seguridad dotado de rearme manual en la impulsión que enclave el sistema de generación de calor.

La temperatura de tarado del termostato de seguridad será, como máximo, 10 °C mayor que la temperatura máxima de impulsión.

#### **1.1.4.2 Energía de biomasa para calefacción**

La forma más económica y eficiente de un sistema de calefacción, consiste en el aprovechamiento del poder calorífico de un combustible. En este caso el combustible seleccionado es la biomasa.

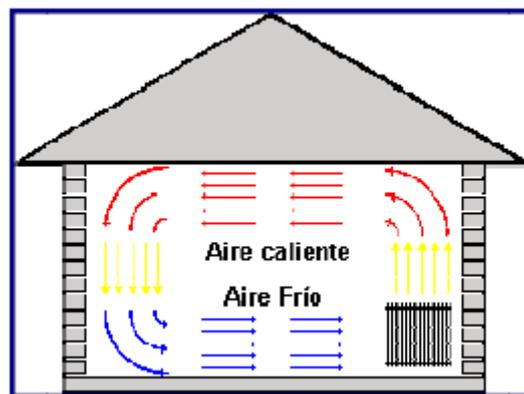
Este sistema de calefacción consiste en calentar un fluido para aprovechar la energía térmica útil en el fluido caloportador y lo transmitirlo al ambiente de la zona a calentar.

El calor generado en la caldera eleva la temperatura del fluido caloportador, que se distribuye a las zonas calefactadas, a una temperatura superior a la estancia. De este modo, el emisor de calor transmite el calor a la estancia, disminuyendo la temperatura del fluido caloportador, que debe ser elevada de nuevo en la caldera.

Los emisores o equipos terminales de calefacción son aquellos dispositivos en los que se lleva a cabo un proceso de cesión de energía térmica a aquellos espacios donde se busca alcanzar una temperatura determinada. Los emisores pueden ser de diversos tipos:

- Radiadores
- Fancoils y aerotermos
- Suelo radiante

En este caso se describirá el suelo radiante, aunque la instalación está provista de radiadores.



*Figura 15. Circulación del aire en el interior de una vivienda. (Fuente [15])*

#### **1.1.4.2.1 Suelo radiante**

Otra de las alternativas que se van a implantar en el proyecto es el suelo radiante. No es ningún tipo de energía renovable pero aun así tiene una mención especial ya que es un sistema que se acopla mucho a las características deseadas para la vivienda y que aún no es muy conocida.

El sistema es semejante a uno de calefacción por agua caliente, con una caldera, u otro medio de calentamiento, y una red de distribución, pero teniendo como emisor el suelo, bajo el cual discurre una tubería haciendo meandros, de modo que los tubos están a una distancia relativamente reducida.

Las tuberías de agua (generalmente de material plástico) se distribuyen sobre el forjado, que son unos bloques de plástico con relieves para sujetar los tubos (se asemejan a piezas de Lego), interponiendo un aislante térmico para evitar que el calor se disipe hacia la planta inferior. Sobre las tuberías se pone las capas necesarias de cemento o anhidrita y arena y luego el solado, que se recomienda sea de un material poco aislante del calor. De esta forma se genera un suelo calefactor invisible y de un uso de temperaturas más bajas a la de los radiadores, demandando así menos potencia a la caldera para el mismo resultado. [28]

### **Características del suelo radiante**

El calor aportado por el suelo radiante es uniforme en toda la vivienda. Una importante condición para el confort humano es que, entre el punto más caliente y más frío de la casa, no haya una diferencia de temperatura superior a 5°C. El calor viene del suelo (muy importante en casa con niños pequeños) y llega hasta una altura de 2 a 3 m., justo donde se necesita ya que las alturas de cada planta del edificio no superan los 2,8 metros. La la curva de distribución de calor del Suelo Radiante es la más cercana a la calefacción ideal (ver esquema):  
Esto nos da un confort a 18 °C, temperatura ambiente, idéntico a 20 °C con sistema convencional. Cada grado de diferencia en la temperatura de la casa significa un ahorro del 6 al 8 % en gasto de calefacción.

Además, este sistema se puede amoldar a cualquier tipo de energía, incluso las renovables como las del presente proyecto ya que requieren de poca potencia y temperaturas no demasiado altas. Es una de sus muchas ventajas:

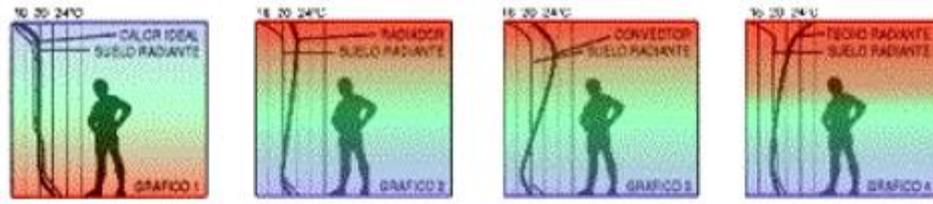
**Estética:** No hay aparatos de calefacción en la casa (radiadores, fan-coils...), resultando la decoración muy beneficiada.

**Saludable:** El agradable y uniforme calor de la vivienda y el suelo asegura un ambiente sano y limpio, sin acumulación del polvillo quemado, sin turbulencias de aire y sin reseca el ambiente. Por esto, el suelo radiante está especialmente recomendado para guarderías, hospitales, residencias de ancianos, etc.

Aun así, algunas normativas limitan la temperatura del suelo a 28 o 29 °C; ya que emplear temperaturas más altas puede ser insano. Al calentarse los pies y piernas (por ser los miembros más cercanos al emisor) se dilatan los vasos periféricos (para conseguir la necesaria disipación del calor más fácilmente) y las personas propensas pueden sufrir varices.

Calefacción de volúmenes con grandes alturas: Como podemos ver en los gráficos de distribución de temperaturas en el suelo radiante (imagen 10), a diferencia de los otros sistemas, el calor se distribuye hasta 2-2,5 m. de altura (el espacio que ocupan las personas), por lo que resulta ideal para la calefacción de grandes volúmenes, como vacío sobre salones, escalera y otros, ya que reduce al mínimo las pérdidas al no crear bolsas de aire en los techos (típico en los otros sistemas de calefacción). Por esto, sólo el suelo radiante es eficaz en locales públicos como naves industriales, polideportivos, iglesias, etc.

Implementación con energías renovables: En el suelo radiante, la temperatura a la que el agua fluye por su interior es moderada, de 35 a 45 °C, a diferencia de los 70 – 90 °C del sistema que utiliza radiadores (es decir, la mitad del segundo), por lo que es ideal para usar con placas solares, sin necesidad de calentador de apoyo. [28]



**Figura 14. Curva de distribución de calor mediante suelo radiante**

Aunque también se da una desventaja lógica, los días de mayor demanda de suelo radiante serán los días más fríos y de clima frío. Estos días la radiación solar será muy escasa y los colectores no podrían abastecer la demanda, por ello se utiliza el sistema mixto con caldera de biomasa.

En la instalación se aporta un aislamiento adicional al edificio que mejora notablemente los parámetros del aislamiento térmico y acústico del mismo. Esto contribuye a conseguir mayor confort y economía reduciendo costes de mantenimiento.

#### **1.1.4.2.2 Tipos de combustibles**

##### **1.1.4.2.2.1 Astillas**

Las astillas de madera poseen una longitud de entre 5 y 100 mm. La calidad de este combustible está ligada a la materia prima de la que proceden, su recogida y de la tecnología de astillado. En función de su procedencia y calidad, pueden distinguirse dos grupos principales de astillas:



**Figura 16. Astillas. (Fuente [16])**

Como principal ventaja cabe destacar que posee un coste inferior a biomásas producidas industrialmente. Se pueden producir localmente y pueden ser un combustible de alta calidad para calderas de cualquier tamaño, aunque precisan de mayor espacio de almacenamiento que los pellets o el hueso de aceituna. Sin embargo, el control de calidad de las astillas de madera y de los residuos agroindustriales es muy importante ya que sus características son poco homogéneas, principalmente en lo que se refiere al poder calorífico y la humedad.

#### **1.1.4.2.2 Residuos agroindustriales**

Los residuos agroindustriales adecuados para su uso como combustible en calderas de biomasa son fundamentalmente los provenientes de las industrias de la producción de aceite de oliva y aceituna, de las alcoholas y la uva, y de los frutos secos. En general, los proveedores suelen reducir su grado de humedad mediante procesos de secado con el objetivo de aumentar su poder calorífico inferior. Normalmente, son combustibles económicos y de buena calidad.



***Figura 17. Residuos agroindustriales. (Fuente [16])***

#### **1.1.4.2.2.3 Combustibles tradicionales: leña y briquetas**

Este tipo de combustible tiene una aplicación poco común; no obstante, su uso se reduce casi exclusivamente a calderas de viviendas unifamiliares y a geografías con alta disponibilidad de este tipo de biomasa.

La leña proviene de trocear troncos. Al igual que ocurre con el resto de la biomasa, la energía que producen en la caldera va a depender del tipo de madera y de la humedad que contenga. Los sistemas de calefacción de leña son semiautomáticos, con la ventaja de que esta biomasa es muy económica.



***Figura 18. Leña. (Fuente [16])***

Las briquetas son cilindros de biomasa densificada de tamaño superior al del pellet, provenientes normalmente de serrines y virutas de aserraderos. Estos cilindros sustituyen normalmente a la leña en las calderas. Las principales propiedades de las briquetas son una humedad menor del 10%, un poder calorífico inferior superior a los 16,9 MJ/kg (4,7 kWh/kg) y una densidad en torno a los 1.000 kg/m<sup>3</sup>.



*Figura 19. Briquetas. (Fuente [16])*

#### **1.1.4.2.2.4 Pellets de biomasa**

Los pellets de biomasa son un biocombustible estandarizado a nivel internacional. Se conforman como pequeños cilindros procedentes de la compactación de serrines y virutas molturadas y secas, provenientes de serrerías, de otras industrias, o se producen a partir de astillas y otras biomásas de diversos orígenes. En el proceso de pelletización no se utilizan productos químicos sino simplemente presión y vapor, aunque es posible encontrar también un porcentaje reducido de aditivos biológicos.



*Figura 20. Pellets. (Fuente [16])*

Se recomienda el uso de pellets de madera natural, por ser los más adecuados para su uso en la climatización de viviendas y grandes edificios.

En general, un buen pellet de madera presenta menos de un 10% de humedad y una durabilidad mecánica mayor del 97,5%. Considerando un poder calorífico cercano a 4.300 Kcal/kg (unos 18 MJ/kg), puede establecerse que de 2 a 2,2 kilogramos de pellets equivalen energéticamente a un 1 litro de gasóleo.

#### **1.1.4.2.3 Calderas de biomasa**

La instalación necesaria para el aprovechamiento de biomasa en calefacción y ACS no difiere de la utilizada con combustibles convencionales como el gasóleo o gas natural; exceptuando el quemador de la caldera, el silo de almacenaje y el sistema de suministro a la caldera.

Sin embargo, debemos aclarar que la instalación de equipos con biomasa obliga de alguna forma a realizar instalaciones centralizadas, dada las dificultades y limitaciones en la distribución del combustible (biomasa) entre el depósito y la caldera.

Aunque inicialmente estas calderas ofrecían rendimientos muy bajos, en la actualidad han evolucionado mucho, alcanzando en muchos casos rendimientos cercanos al 95%, y un mantenimiento mínimo, así como sistemas automáticos de limpieza de las cenizas resultantes de la combustión.

El elemento que singulariza este tipo de calderas frente a las convencionales de gasóleo o gas, es el quemador, que recibe el suministro dosificado y regulado del combustible de biomasa.

#### **1.1.4.2.3.1 Partes de una caldera**

- **El acumulador inercial**

Todas las calderas de biomasa necesitan un acumulador inercial convenientemente aislado, dada la gran inercia de combustión de la biomasa. Gracias a él, se reducen los bloques de la combustión ante interrupciones de demanda de calefacción o ACS, consiguiendo un funcionamiento más regular, menor emisión de humos y cantidad de cenizas. El volumen del acumulador ( $V_{acc}$ ) depende del volumen de llenado de combustible, de la potencia nominal de la caldera ( $P_n$ ) y de la carga térmica total del edificio ( $P_{tot}$ ).

- **El intercambiador de calor**

Para la producción de ACS, se utiliza un intercambiador de calor, que es el componente que permite la transferencia del calor producido en la combustión al circuito primario (de agua). En el periodo estival, el acumulador inercial permite recargar muchas veces el acumulador de ACS sin tener que volver a encender la caldera.



***Figura 21. Intercambiador de calor de caldera de biomasa. (Fuente [16])***

- El almacenamiento de combustible

Al igual que una instalación de caldera de gasóleo, las calderas de biomasa requieren un depósito de combustible de tipo silo.

La gran diferencia de éste tipo de silos de los depósitos de gasóleo o gas, reside en las limitaciones propias de un combustible que no es fluido, y por lo tanto su ubicación estará en función de la localización de la caldera, de la zona habilitada para el llenado desde el camión suministrador, y del tipo de biomasa empleado. Por otra parte, el volumen de estos silos debe ser bastante mayor que el de los depósitos convencionales.

Un aspecto fundamental es que el silo deberá estar perfectamente protegido de las filtraciones de agua, y estar convenientemente ventilado, dada la facilidad de formación de hongos en las astillas húmedas.

## 1.1.5 Descripción del proyecto

### 1.1.5.1 Características de la vivienda

En esta vivienda la unidad familiar la componen cuatro personas con asiduidad los 12 meses del año, por lo tanto, el diseño de la instalación solar térmica y la sustitución de la caldera de gasoil por una caldera de biomasa deben cubrir la demanda energética a lo largo de todo el año, sin dar preferencia al verano o al invierno.

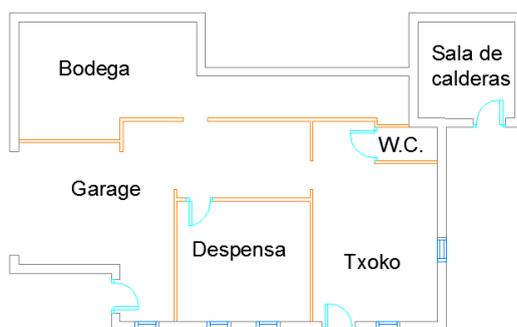
Se trata de una vivienda construida en el año 1977. Dicha vivienda consta de dos plantas; planta baja y planta primera bajo cubierta. A continuación, daremos una breve explicación de cada planta y de los usos que tiene cada una.

A parte de las superficies que se describen a continuación, la vivienda también consta de un amplio terreno de 1543 m<sup>2</sup>

#### 1.1.5.1.1 Planta baja

Dispone de un amplio garaje, una despensa y por último una sala donde se sitúa la actual caldera de gasoil. En esta zona del edificio es donde estará situada la instalación para ACS y calefacción.

Se trata de superficie no habitable, por lo tanto, esta zona no va a solicitar ni climatización ni ACS, ya que su finalidad no es la residencia de los inquilinos (ver figura 22).

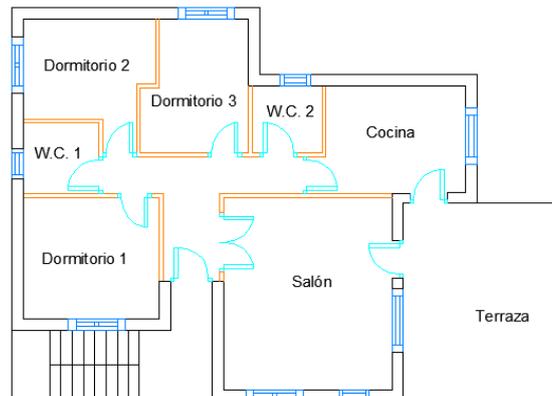


**Figura 22. Planta baja**

### 1.1.5.1.2 Planta principal

Es la vivienda de la familia, es decir en las zonas de la casa donde conviven los inquilinos de la casa. Es, por tanto, la zona del edificio a la cual se ha de suministrar tanto el ACS como la climatización.

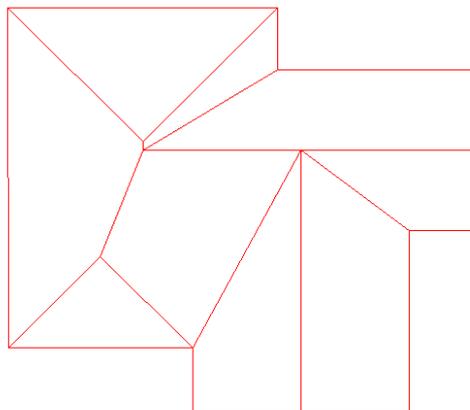
Consta de 3 habitaciones, dos de ellas son individuales y la restante es doble. También dispone de 2 baños, de una cocina y un salón que da salida a una gran terraza como se puede apreciar en la siguiente figura 23.



**Figura 23. Planta principal**

### 1.1.5.1.3 Cubierta

Se trata del tejado de la casa y se caracteriza por su complejidad dado que este tejado está diseñado a 9 aguas como se puede observar en la siguiente



**Figura 24. Cubierta**

Por último, se resumen las diferentes áreas de la vivienda en la tabla 3.

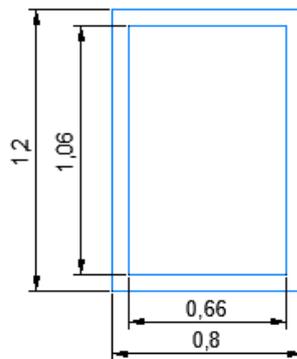
**Tabla 3. Superficies de la vivienda.**

ZONA	ESPACIOS HABITABLES	m <sup>2</sup>	ESPACIOS NO HABITABLES	m <sup>2</sup>	
<b>Planta baja</b>			Garaje	37,09	
			Bodega	29,61	
			WC	2,2	
			Txoko	25,4	
			Despensa	17,4	
			Sala de caldera	10,4	
<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>		<b>0</b>		<b>122,5</b>	
<b>Planta Principal</b>	Salón	22,92			
	Dormitorio 1	11,7			
	Dormitorio 2	9,88			
	Dormitorio 3	9,34			
	WC 1	3,8			
	WC 2	3,33			
	Cocina	11,18			
	Hall	3,53			
	Pasillo	5,5			
				Terraza	22,95
				Escaleras exteriores	11,77
<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>		<b>81,16</b>		<b>34,72</b>	

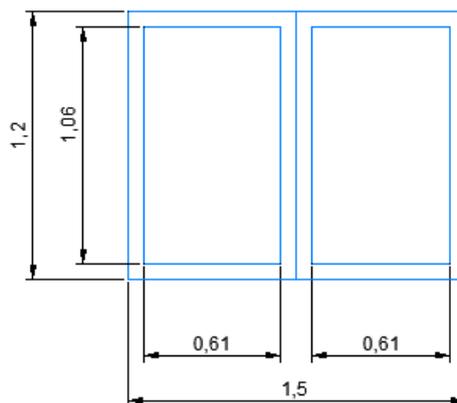
#### 1.1.5.1.4 Huecos y lucernarios

##### 1.1.5.1.4.1 Ventanas

En esta vivienda hay 3 tipos de ventanas compuestas por los mismos materiales, marco de madera y ventanas de vidrio simple, cuyas dimensiones aparecen en las siguientes figuras 25-26-27.



**Figura 25. Ventana tipo 1**



**Figura 26. Ventana tipo 2**

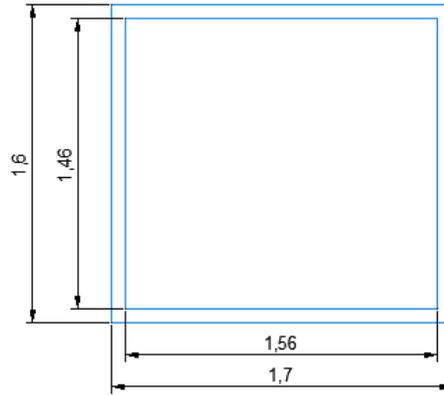


Figura 27. Ventana tipo 3

#### 1.1.5.1.4.2 Puertas

Se tratan de puertas de madera y sus dimensiones se muestran en la siguiente figura 28.

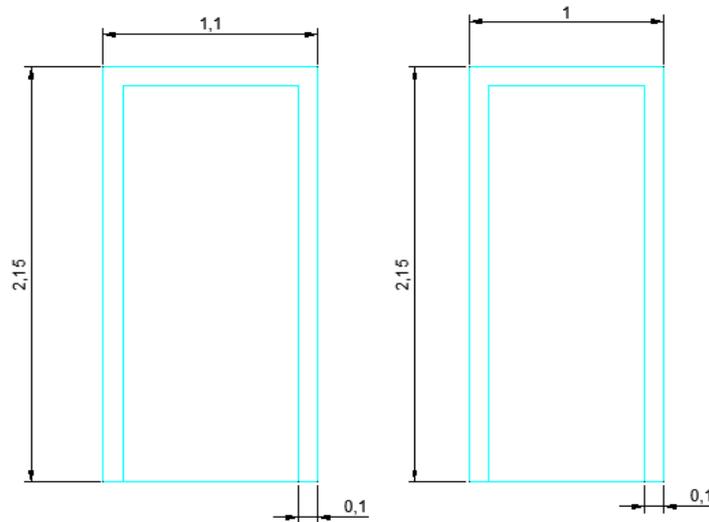


Figura 28. Puerta tipo 1 y tipo 2

### 1.1.5.1.5 Instalaciones actuales para ACS y calefacción

Dado que se trata de una vivienda aislada, para el calentamiento del agua y la calefacción se utiliza una caldera de gasoil que está ubicada en la planta baja en la sala de caldera. El modelo es INOX 3 BV/ACS y sus características de la caldera son las que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Características de la caldera de gasoil**

INOX 3 BV ACS	
Caldera de agua	Máx. 90 c
Año y Serie	1996-35947
Pot. Térmica	23330kcal / 27KW
Pot. Útil	20300Kcal / 23,6KW
Resistencia Circ. Humos	10PA-1mmH <sub>2</sub> O
Presión máx. Caldera	4bar-400KPa
Alimentación eléctrica	220V-50Hz-113W

### 1.1.5.2 Dimensionamiento de la instalación solar térmica para ACS

La instalación solar térmica más adecuada para este estudio está formada por un sistema de captación, un sistema de acumulación para ACS y un equipo de apoyo conectado en paralelo al depósito acumulador, dicha instalación alcanza un 68,04% de la energía demanda por la producción de ACS.

El sistema de captación está formado por un colector solar plano modelo Junkers FKT-1 W con una inclinación de 40º y orientación Sur.

La estructura soporte del colector solar será montada en el exterior y permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico, de la misma casa que el producto anterior, es decir fabricada para dicho colector.

El sistema de acumulación estará formado por un interacumulador de la marca Valinox, modelo 2VTCE Eco de doble serpentín y un volumen de 135 litros, ya que a pesar de emplear la marca Junkers en todos los dispositivos, no dispone de un depósito acumulador que se adecue a las necesidades de la vivienda.

La regulación se realizará mediante una central electrónica modelo Junkers TDS 100, la cual estará conectada al grupo de bombeo del circuito primario, el depósito de acumulación y el colector solar.

Los elementos de seguridad de la instalación lo compondrán las válvulas de seguridad, el vaso de expansión modelo Junkers SAG 18 y un purgador automático ubicado en la parte más elevada del circuito primario.

El sistema de distribución de la energía estará formado por los conductos, las bombas de circulación y la red de tuberías de diámetro 14 mm. El aislamiento térmico de todas las tuberías y elementos del circuito primario se llevará a cabo con espuma elastomérica de la marca Armaflex. El espesor del aislamiento según el RITE será de 25 mm en tramos interiores y de 35 mm en tramos exteriores.

El líquido que circula por el circuito primario de la instalación estará formado por mezcla de agua con propilenglicol en una proporción del 28%.

Todos los elementos de la instalación estarán instalados en la sala de la caldera como se muestra en los planos, exceptuando el colector solar que se ubicará encima de la cubierta de la sala de la caldera. Asimismo, todos los elementos de la instalación cumplirán la normativa vigente como se indica en el apartado de 1.2.1. Cálculos.

### 1.1.5.2.1 Colector solar seleccionado

A la hora de elegir el colector solar se ha tenido en cuenta que al tener la restricción de la superficie de captación en función a la demanda de ACS, por ello se ha elegido un modelo con un alto rendimiento, y así sacarle mayor provecho a esa superficie de captación.

Por lo tanto, de los modelos de colectores que existen en el mercado, y tras un estudio de su relación calidad-precio el captador seleccionado es el modelo FKT-1 W de la casa Junkers. Además, dicha casa es una marca líder en Europa y ofrece excelentes descuentos para Kit de instalaciones solares térmicas de ACS para uso doméstico.



**Figura 29. Colector solar Junkers FKT-1. (Fuente[17])**

Las características principales del colector solar seleccionado son las siguientes:

- Captador solar plano de alto rendimiento, con tratamiento altamente selectivo (PVD), para montaje en vertical.
- Circuito hidráulico en doble serpentín.

- Permite conexión en paralelo hasta 10 captadores.
- Uniones metálicas flexibles, de muy fácil conexión y gran durabilidad.
- Aislamiento de lana mineral de 55 mm. de espesor.
- Estructura en forma de caja, realizada en fibra de vidrio.
- Superficie apertura: 2,25 m<sup>2</sup>.
- Dimensiones totales: 1.145 x 2.070 x 90 mm. [17]

La curva de rendimiento de nuestro colector solar es una curva de rendimiento instantáneo según EN 12975-2:

$$\mu = 0,811 - 3,653(T_e - T_a) / I$$

- Factor de eficiencia: 0,811.
- Coef. Pérdidas lineales: 3,653 W/m<sup>2</sup> K.
- Coef. Pérdidas secundarias: 0,0146 W/m<sup>2</sup> K<sup>2</sup>.

#### **1.1.5.2.2 Sistema de acumulación seleccionado**

A pesar de emplear la marca Junkers en todos los dispositivos, no dispone de un depósito acumulador que se adecue a las necesidades de la vivienda. Por lo tanto, el modelo elegido es 2VTCE ECO de Valinox de 135 litros de acumulación.

Están fabricados en acero inoxidable AISI-316L, soldados con la mejor tecnología; y realizándole una exigente prueba hidráulica a 1,5 veces la presión de trabajo, normalmente 8 bares. La temperatura máxima de trabajo de los serpentines es de 120 °C. Están especialmente diseñados para la acumulación de ACS

Sus dimensiones son las siguientes:

- Diámetro exterior de 420 mm.
- Altura total de 960 mm.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla sus características técnicas:

**Tabla 5. Características de acumulador 2VTCE ECO. (Fuente [18])**

	2VTCE 100	2VTCE 135	2VTCE 150	2VTCE 200	2VTCE 250	2VTCE 300
<b>Capacidad del depósito (l)</b>	100	135	150	200	250	300
<b>Presión máx. del depósito (Bar)</b>	8	8	8	8	8	8
<b>Tª máxima del depósito (°C)</b>	90	90	90	90	90	90
<b>Superficie de Intercambio Serpentin Primario (m²)</b>	0,38	0,48	0,48	0,64	0,96	1,32
<b>Volumen Serpentin Primario (l)</b>	1,89	2,71	2,71	3,92	5,42	7,85
<b>Superficie de Intercambio Serpentin Auxiliar (m²)</b>	0,38	0,38	0,48	0,48	0,64	0,96
<b>Volumen Serpentin Auxiliar (l)</b>	1,89	1,89	2,71	2,71	3,92	5,42
<b>Tª máx. Serpentes (°C)</b>	120	120	120	120	120	120
<b>Presión máx. de trabajo de los Serpentes (Bar)</b>	10	10	10	10	10	10

Se elige un acumulador con doble serpentín para que el agua reciba energía de la instalación solar y, si esta no fuera suficiente, de la caldera auxiliar de biomasa.

### 1.1.5.2.3 Grupo de bombeo seleccionado

Una vez realizados los cálculos de caudal y de pérdidas de carga descritos en el anexo de cálculos, el modelo que se ha seleccionado es el grupo de bombeo de la marca JUNKERS AGS 5, el cual la curva característica de la bomba es la que se muestra a continuación (la curva a observar es la de color rojo):

**Tabla 6. Curva de rendimiento de la bomba. (Fuente[17])**



Estación solar de bombeo de una sola línea, premontada para sencilla instalación, que incorpora:

- Bomba.
- Válvula de esfera con termómetro integrado y anti-retorno por gravedad.
- Conexión para llenado y vaciado del circuito primario solar.
- Caudalímetro.
- Conexión para vaso de expansión.
- Debe conectarse a instalaciones que posean purgadores.
- Dimensiones: 145 x 370 x 200 mm. [17]

#### **1.1.5.2.4 Vaso de expansión seleccionado**

Se decide instalar vasos de expansión de tipo cerrado ya que, con respecto a los de tipo abierto, son más fáciles de montar, no absorben oxígeno y eliminan las pérdidas de fluido caloportador por evaporación, evitando así la corrosión provocada por el agua de reposición.

Como se puede apreciar en el anexo de cálculos, el vaso que más se ajusta a las necesidades de la instalación es de 18 litros (el mínimo elegible), por lo que se ha seleccionado un vaso de expansión de la marca JUNKERS, modelo SAG 18.



**Figura 30. Vaso de expansión SAG 18. (Fuente [17])**

Los accesorios para su incorporación e instalación al circuito serán de la misma casa Junkers, el modelo AAS 1, ya que vienen fabricados para este tipo de vasos y son por lo tanto los más aconsejables.

#### **1.1.5.2.5 Sistema de control seleccionado**

La opción elegida en el sistema de captación-acumulación es un sistema de regulación por termostato diferencial que actúa sobre la bomba. En este sistema se compara la temperatura del agua a la salida del captador con la temperatura del fluido en la parte inferior del acumulador. Cuando la diferencia entre ambas supere un valor previamente definido, el controlador ordenará al grupo de bombeo que se ponga en funcionamiento.

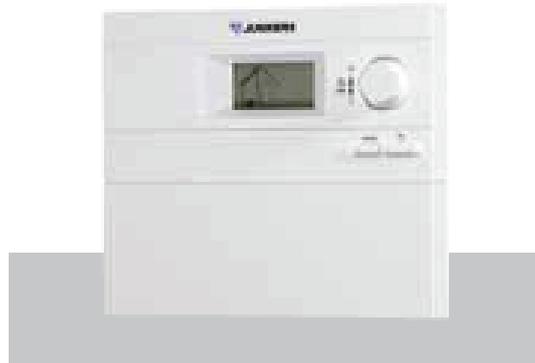
El modelo elegido para el sistema de control pertenece a la marca JUNKERS y el modelo es el TDS 100.

Para una aplicación:

- 3 entradas para sondas de temperatura NTC.
- 1 salida por triac, velocidad variable.

Controlador solar por diferencial de temperatura para instalaciones solares con una aplicación.

- Display LCD iluminado y animado.
- Anti hielo electrónico.
- Regulación de velocidad en bomba.
- Ajuste del diferencial de temperatura.
- Dimensiones: 190x170x50 mm.
- Montaje sobre pared.
- Incluye dos sondas de temperatura NTC. [17]



*Figura 31. Sistema de control TDS 100. (Fuente [17])*

#### **1.1.5.2.6 Sistema auxiliar**

Respecto al sistema auxiliar se explicará con más detalle en el siguiente apartado, dado que se tratará de una caldera de biomasa cuyas funciones serán ejercer de sistema auxiliar para el ACS y también se encargará de la calefacción de la vivienda.

Se ha decidido utilizar este tipo de alternativa por las siguientes razones:

- La biomasa puede sustituir a otros combustibles con precios de combustibles más asequibles.
- La biomasa para uso de fines térmicos es de origen forestal, y para el desarrollo del árbol de que procede es necesario que éste absorba una determinada porción de CO<sub>2</sub> que se estima equivalente al que se desprende en su combustión. En consecuencia, se habla de un crecimiento nulo de CO<sub>2</sub> en la atmósfera si se emplea como combustible. Además, la biomasa presenta un bajo o nulo contenido en azufre frente a los combustibles fósiles, que es otro aspecto a considerar debido a los efectos contaminantes. [19]

### **1.1.5.3 Dimensionamiento de caldera de biomasa**

#### **1.1.5.3.1 Selección del combustible**

Se elige como combustible el pellet en vez de otras biomásas (astillas, leña...), debido a que presenta una serie de características que se adaptan mejor a las limitaciones de la vivienda.

Esta elección se fundamenta principalmente en el espacio disponible en la sala de calderas ya que las instalaciones de pellets precisan menor espacio de almacenamiento que los demás combustibles y, por un lado, las dimensiones de la caldera son menores.

De otra manera, los pellets presentan mayor poder calorífico, por tanto, se requerirán de un silo de menores dimensiones para satisfacer la misma demanda calorífica.

#### **1.1.5.3.2 Selección de la caldera**

Para la selección de la caldera de biomasa se han seguido los siguientes criterios:

- Caldera con una potencia nominal de aproximadamente 10 KW, ya que como se ha demostrado en el apartado 1.2.1 Cálculos es la potencia que demanda la vivienda.
- Tipo de combustible pellets.
- Rendimiento de la caldera superior al 90%.
- Buena relación calidad-precio.
- Carga de combustible automática.
- Automatización del sistema de limpieza.
- Posibilidad de modular la potencia de la caldera.
- Sistema de regulación y control sencillo.

La caldera seleccionada es el modelo RTB 10KW de la marca NBE que funciona con quemador de alto rendimiento , al contrario de las calderas de pellets tradicionales que queman en un crisol donde cae el combustible por gravedad, ajustando aún más el consumo gracias a su modulación de 90 pasos, lo que significa que el quemador tiene la capacidad de entregar desde el 10 % de la potencia hasta el 100 %, con lo que ajustamos mucho más el aporte de potencia a la demanda exacta de la instalación. [19]

Dispone de un sistema de limpieza automática de intercambiador y quemador de forma neumática a través de un compresor de aire lo que reduce el consumo al no disponer de motores adicionales como en el resto de calderas y aumenta el rendimiento al limpiar de forma más efectiva.

Su gran pantalla a color es intuitiva y facilita el manejo de todos los parámetros de la caldera de pellets.

A continuación, en la tabla 7 se describen las características generales de la caldera seleccionada.

**Tabla 7. Datos técnicos de la caldera RTB 10KW. (Fuente [20])**

<b>Nombre de Producto</b>	<b>RTB 10</b>
Output	10 kW
Eficiencia Output Nominal	93,9%
Eficiencia Output Baja	90,5%
EN303-5:2012 Class	5
Controlador:	V7
Ancho (mm) (Caldera)	506
Profundidad (mm)	843
Altura (mm)	1022
Chimenea ( mm)	100
Peso ( kg )	162
Contenido de Agua (litros)	36
Cenicero ( litros )	31
Output / Retorno / Relleno	¾ "

### **1.1.5.3.3 Chimenea y conducto de humos**

Para la salida de los productos de la combustión, se conecta la caldera a la salida de humos de la actual caldera de gasóleo, realizando un registro para limpieza y empleando, para la conexión con la chimenea actual de 125 mm de diámetro de INOX 316.

### **1.1.5.3.4 Silo de pellets**

El modelo seleccionado del silo es Geobox C-125, con una capacidad de 1,7 toneladas de pellets cuya autonomía en un tercio del consumo anual, pero debido a las dimensiones de estos elementos, es el que más se ajusta a las necesidades de la vivienda.

Los silos están fabricados en material de plástico antiestático y formados con una estructura de acero galvanizado para hacer más estable la estructura además de para protegerlo de la humedad y suciedad.



***Figura 32. Silo de pellets Geobox C-125. (Fuente [21])***

#### 1.1.5.4 Dimensionamiento de la instalación de suelo radiante

Para la instalación de calefacción se decide implementar el sistema de suelo radiante, ya que es el sistema más eficiente en cuanto a calentamiento de viviendas.

Este sistema de calefacción está constituido por unos serpentines de tubos de polietileno reticulado, instalados debajo del pavimento de las dependencias calefactadas, que parten y finalizan en unos colectores.

El agua calentada por la caldera circula a través de los serpentines calentando el suelo, y desde este, mediante radiación cede el calor al ambiente. Los tubos de polietileno son el componente más importante de esta instalación. Están fabricados con polietileno de alta densidad y reticulados. El reticulado permite realizar una estructura de red tridimensional que hace que el tubo no tenga problemas en cuanto a temperatura (posible deteriorado por fusión). Por esto se debe de tener en cuenta que el tubo, antes de la instalación, se encuentre en perfectas condiciones ya que un defecto del mismo podría acarrear problemas en su funcionamiento o en su vida útil. A continuación se indican varias de las características de este tipo de tubos (compañía “Wirsbo”):[29]

Características físicas	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	951
Rugosidad (mm)	0,007
Características térmicas	
Temperatura máxima de servicio (°C)	95
Temperatura máxima puntual (°C)	110
Coefficiente de dilatación lineal (K <sup>-1</sup> )	1,5·10 <sup>-4</sup>
Calor específico a 23°C (KJ/kg·K)	2,3
Conductividad térmica (W/m·K)	0,35 – 0,38
Características mecánicas	
Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	> 22
Alargamiento a la rotura (%)	>400
Módulo de elasticidad (20°C) (N/mm <sup>2</sup> )	>800

**Tabla 8. Características de las tuberías para suelo radiante de la compañía “wirsbo”**

Las condiciones de servicio de este tipo de tuberías, para una aplicación en suelo radiante, son las siguientes.

Condiciones de servicio				
Temperatura (°C)	Coef. de seguridad	Presión máxima de servicio (bar)		
20	1,25	15,7	19,7	24,6
40	1,5	10,1	12,6	15,8
60	1,5	8,0	10,0	12,5
70	1,3	8,6	10,8	13,5
100	1	8,6	8,3	10,4

*Tabla 9. Condiciones de servicio de los tubos de la marca "PIPEX"*

Una instalación de este tipo no está solamente formada por los tubos de polietileno. A parte de estos, estas instalaciones cuentan con:

- Plancha de aislamiento:** se sitúan encima de un fino film de polietileno (utilizado para separar el hormigón si se la habitación se encuentra en un sótano, sobre terreno natural o a la intemperie). Está especialmente diseñada para acoger las tuberías. Consta de unos tetones en los que se inserta la tubería con facilidad. Los tetones de la plancha de aislamiento permiten la instalación con 10, 15, 20 y 30 cm de separación entre tubos. El diseño de las planchas facilita el acoplamiento machihembrado entre ellas.
- Banda perimetral de aislamiento:** esta banda es la encargada de evitar las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos y de absorber las dilataciones del hormigón. Se sitúan entre la plancha de aislamiento y el tabique.

- **Grapas:** se insertarán en los tetones de la plancha de aislamiento para sujetar las tuberías.
- **Colectores de alimentación y retorno:** Son los encargados de distribuir el agua caliente por las estancias de la vivienda y de recoger el agua una vez ha recorrido el circuito. Los colectores deben tener tantas entradas y salidas como dependencias tenga la vivienda. Deben tener juntas de estanqueidad y adaptadores para conectar las tuberías. Los colectores de alimentación llevan una válvula y un mando de accionamiento manual para cada circuito de tuberías. El mando de la válvula puede ser reemplazado por un actuador, que puede ser accionado a distancia automáticamente mediante un termostato ambiente. Los colectores se suelen empotrar en una pared, más o menos en una zona central de la vivienda de modo que se reduzca la cantidad de tubería necesaria. [27]

El proceso a seguir para el montaje de la instalación es el siguiente:

**1) Preparación de la obra:** Antes de realizar la instalación de un suelo radiante hay que asegurarse de que:

- a. El forjado esté perfectamente nivelado y lo más limpio y liso posible, sin pegotes de mortero, yeso, cemento ni restos de otros materiales.
- b. La tabiquería, conducciones de agua y electricidad estén totalmente acabadas.

**2) Colocación del colector:** la instalación comienza por la colocación del equipo de distribución. Se debe colocar a una altura que permita que los tubos puedan curvarse y unirse al distribuidor sin ningún problema. La ubicación del equipo estará definida en el plano del proyecto. Los lugares más habituales son: armarios empotrados, interior de los armarios de la cocina, sala de calderas, etc.

**3) Colocación de la banda perimetral:** La banda perimetral se debe colocar en todo el perímetro de las paredes y otros componentes del edificio que penetran en la casa como marcos de puertas, pilares y columnas ascendentes. Debe extenderse desde el forjado soporte hasta la superficie del forjado acabado. No debe cortarse la parte de la banda perimetral que sobresalga del forjado hasta que no se coloque el solado final.

**4) Colocación del panel aislante:** En primer lugar, se colocará una fila de placas cubriendo longitudinalmente toda la habitación, en caso de que la última placa no quepa, se cortará para poder ajustarla. El pico restante de ese corte, se ensamblará al comienzo de la segunda fila y así sucesivamente. De este modo se optimizará la placa necesaria sin tener que generar desperdicios. El panel aislante se debe colocar a lo largo de toda la superficie del forjado. Para evitar que filtre el mortero, hay que realizar una unión entre paneles, normalmente son un sistema de machihembrado. El suelo tiene que quedar bien sellado para evitar puentes térmicos.

**5) Colocación del tubo:** La unión de los extremos del tubo al equipo de distribución se realiza mediante los accesorios de unión. Se debe asegurar que no hay holgura entre accesorio y tubo. Para ello es suficiente con introducir el accesorio en el tubo y ver si entra fácilmente o no. En primer lugar, hay que introducir la tuerca en el tubo, a continuación, la anilla y finalmente, el accesorio. Este tiene que entrar recto en el colector para evitar cualquier problema de pellizcamiento de juntas. Una vez unido uno de los extremos del tubo al colector, se realiza el circuito, que no deberá superar los 120 metros y se une el otro extremo al colector de retorno. Los tubos deben colocarse a más de 50 mm de distancia de las estructuras verticales y a 200 mm de los conductos de humo, de los cañones de chimenea con pared o sin ella y de los huecos de ascensores.

**6) Juntas de dilatación:** La superficie entre juntas de dilatación no debe superar los 40 m<sup>2</sup>, con una longitud máxima de 8m. Se deberán colocar en los pasos de puertas, siempre que la longitud del recinto sea superior a 3 veces su

anchura. En caso de utilizar mortero autonivelante, es necesario seguir las indicaciones del fabricante. Los tubos que atraviesan las juntas de dilatación hay que protegerlos.

**7) Llenado de la instalación y prueba de presión:** El llenado de la instalación debe realizarse lentamente, circuito por circuito, para reducir al máximo la entrada de aire. Se cierran todos los circuitos excepto, el que se quiere llenar. Se abren los grifos de la impulsión y el retorno, para que el aire del circuito pueda salir y se comienza con el llenado por el grifo del colector de impulsión. El circuito estará lleno, cuando, desde el grifo del colector de retorno, salga un chorro continuo de agua. Una vez terminado con el primer circuito, se cierra éste y continúa con el resto de circuitos hasta terminar de llenar la instalación completamente. Los purgadores deben servir también para evacuar el aire que pueda quedar en la instalación.

**8) Vertido del mortero:** Durante la producción del mortero deben utilizarse solamente aditivos que no aumenten más del 5% el aire dentro del mortero. Cuando se coloca el mortero, la temperatura del mismo y la temperatura del suelo de la habitación no debe caer por debajo de 5 °C. A continuación, se debe mantener la temperatura de 5 °C como mínimo durante tres días. El vertido debe realizarse comenzando por la habitación que está en un extremo, siguiendo un orden y dejando para el final los pasillos. Dentro de cada estancia el vertido se realiza empezando desde la mitad y esparciendo el mortero con cuidado, de forma que el film de la banda perimetral se quede por debajo del mortero.

**9) Colocación del solado:** La colocación del solado se realizará transcurridos 28 días del vertido del hormigón, respetando las características de cada tipo de revestimiento.

**10) Equilibrado de la instalación:** Una vez realizado el calentamiento inicial, es necesario proceder al equilibrado de la instalación, para que el calentamiento de cada estancia sea uniforme. Para ello se utilizarán los reguladores de caudal o detentores de los equipos de distribución.

**11) Colocación de la regulación:** Antes de colocar los elementos de regulación es necesario identificar todos los componentes de los que se dispone y realizar un esquema con todos ellos. La instalación constará de dos partes, que se describen en el siguiente apartado.

### **Partes de la regulación**

#### **Circuito de mezcla**

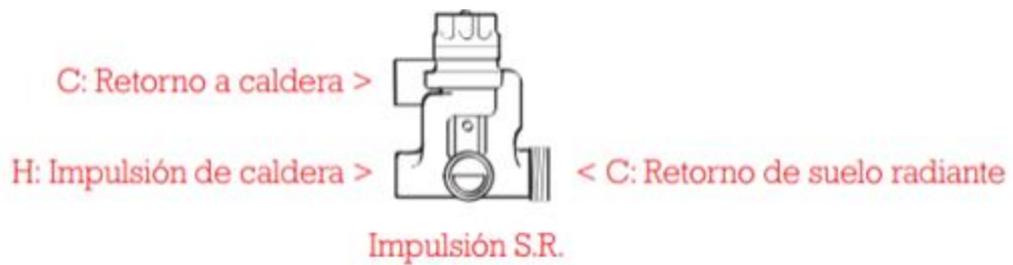
El circuito de mezcla puede ser de tres tipos:

- Regulación a temperatura fija
- Regulación a temperatura variable para calefacción
- Regulación a temperatura variable para calefacción – refrescamiento

En el caso de esta instalación se va a utilizar un circuito de mezcla con regulación a temperatura fija. Esto significa que el agua de impulsión siempre tendrá la misma temperatura (aquella que se ha definido a la hora de realizar la instalación).

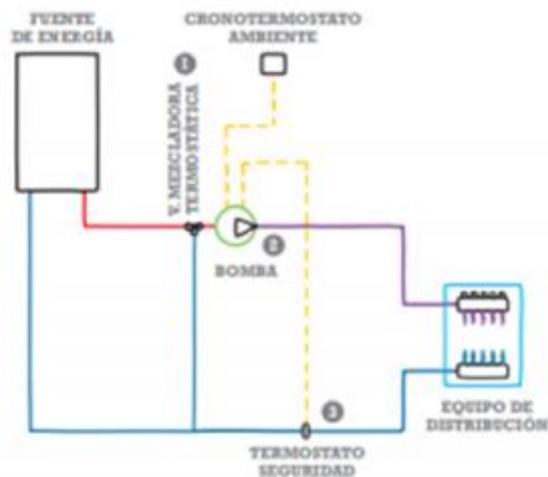
Para realizar este tipo de instalación se necesitan 3 elementos:

- **Una válvula mezcladora termostática:** una válvula de este tipo garantiza una buena gestión del agua caliente puesto que, de este modo, no se produce ninguna pérdida de agua o de energía al intentar ajustar la temperatura al nivel deseado y, además, se consigue reducir la pérdida de calor en las tuberías.



**Figura 33. Esquema de una válvula mezcladora termostática [Fuente 27]**

- **Una bomba:** Es necesario elegir la bomba adecuada a cada instalación. Para ello se tendrá en cuenta la pérdida de carga máxima, el caudal de la instalación de suelo radiante y las pérdidas de carga de las tuberías de conexión hasta los colectores.
- **Un termostato de contacto de seguridad:** Detendrá la circulación del fluido a través de las tuberías en el caso de que la temperatura no sea la correcta.



**Figura 34. Esquema de la instalación con circuito de mezcla a temperatura fija [Fuente 27]**

### **Regulación de temperatura ambiente**

Si se quiere independizar el ambiente de cada estancia se deben tener los siguientes elementos:

- **Cabeza termoeléctrica:** es un accionamiento todo o nada, normalmente cerrado. Cuando recibe la señal del termostato, abre el paso del circuito correspondiente a dicho accionamiento. El microinterruptor de señal de fin de carrera se comporta como un interruptor que se acciona cuando la válvula está bajo tensión, permitiendo de esta manera actuar a cualquier dispositivo que quiera comandarse con dicho microinterruptor (por ejemplo, arrancar una bomba de circulación).
- **Termostato:** Sirve para seleccionar la temperatura a la que deseamos tener el ambiente de una dependencia. Se debe colocar en la habitación donde se va a controlar el ambiente a 1,5 m de altura. No se debe colocar en muros exteriores, cerca de un foco de calor, ventanas o puertas.

#### **1.1.5.4.1 Mortero Autonivelante**

A la hora de elegir el mortero a aplicar encima del suelo radiante se ha escogido un mortero de Anhidrita exactamente el ecomortero autonivelante Anhivel CA - C20 - F4 (norma UNE-EN 13813).

Se realizará una aplicación de aproximadamente 81 m<sup>2</sup> del ecomortero autonivelante con un espesor medio orientativo de 6 cm. El espesor será calculado a la finalización de la aplicación en base a los m<sup>2</sup> reales medidos en obra y a los m<sup>3</sup> suministrados.

- Previo a la colocación del sistema radiante, se deberá comprobar que la altura existente entre la cota de acabado y la solera base (forjado) no sea excesiva. Como norma genérica rondará los 9 cms, variará según el espesor de la plancha aislante del sistema radiante y los gruesos del revestimiento.
- Comprobar también que la solera base tenga una nivelación regular. Será necesario corregir los desniveles cuando las diferencias de nivel sean superiores a 3 cms.
- La solera será transitable pasadas las 24/48 horas, pero no se deben colocar cargas hasta pasados 7 días. Se debe evitar la rehumidificación.
- Con estas comprobaciones, y si son necesarias sus correcciones, conseguiremos que el espesor del mortero sea lo más regular posible y no supere los 5-6 cms desde la parte inferior del tubo radiante.
- Las planchas de aislamiento deben estar correctamente unidas unas a otras y a la banda perimetral, de modo que no queden huecos por donde pueda filtrarse el mortero, provocando puentes térmicos.

- La banda perimetral debe estar estirada y adherida a la pared y el sobrante no se cortará hasta la colocación del revestimiento final, con objeto de absorber las dilataciones de funcionamiento.
- Las tuberías del sistema radiante deben estar en presión y fijadas correctamente al aislamiento térmico, para evitar que salgan a flote.
- Es recomendable realizar gradualmente la primera puesta en marcha del sistema radiante, como indica la norma UNE EN 1264-4, antes de la colocación del revestimiento. De este modo, comprobaremos el funcionamiento del sistema, a la vez que favorecemos el el secado de la solera. [30]

#### **Requisitos de secado:**

- A partir del segundo día, airear el local eficientemente y de forma continuada, para favorecer el endurecimiento y secado óptimo de la solera. Para acelerar dicho secado, se pueden utilizar calefactores eléctricos (nunca de gas), dehumidificadores y/o ventiladores.
- El tiempo estimado de secado en condiciones ambientales normales es de 1 día por milímetro de espesor.

Sobre calefacción con suelo radiante, se puede acelerar el secado realizando el protocolo de puesta en marcha a partir del séptimo día.

### **Requisitos previos a la colocación del revestimiento:**

- La solera debe estar seca, lijada y sin polvo.
- La comprobación de la humedad residual del mortero será responsabilidad del colocador del revestimiento. Como norma general, la humedad residual debe ser inferior al 1% para revestimientos permeables (gres, materiales pétreos) y 0,5% para revestimientos impermeables (madera, PVC, resinas, etc)
- Las colas a utilizar sobre la solera deben ser compatibles con anhidrita, salvo imprimación previa.

### **1.1.5.5 Certificación de la vivienda**

El certificado de eficiencia energética o certificado energético es un documento oficial redactado por un técnico competente que incluye información objetiva sobre las características energéticas de un inmueble.

Dicho certificado resulta obligatorio, salvo excepciones, para el propietario de cualquier parte individual de un edificio existente (viviendas, oficinas o locales) objeto de una operación de compraventa o de alquiler. De este modo, se pretende que el comprador o el inquilino pueda «valorar y comparar la eficiencia energética como un factor añadido para la toma de decisiones de compra o alquiler» en un edificio.

En un edificio, la eficiencia energética se calcula midiendo la energía consumida todos los años en condiciones normales de uso y ocupación. Para ello se tienen en cuenta todos los servicios utilizados de manera habitual, como la calefacción, la refrigeración, la ventilación, la producción de agua caliente sanitaria y la iluminación, a fin de mantener las condiciones de confort térmico y lumínico y sus necesidades de agua caliente sanitaria y calidad de aire interior.

Para mostrar la calificación de la vivienda se utiliza una escala en letras que va de la A a la G. La calificación más elevada, es decir, la A, corresponde a un color verde oscuro y también al mejor desempeño energético posible. La letra G, opuestamente, corresponde al color rojo y al peor desempeño energético. Asimismo, la etiqueta energética incluye cierta información respecto al consumo anual de energía y sobre la producción de dióxido de carbono al año. [22]

### 1.1.5.5.1 Certificación previa a las mejoras

Como se puede apreciar en la tabla 10, la certificación de la vivienda antes de imponer las nuevas instalaciones posee la letra G en la escala, y este valor se ve especialmente influenciado en el tipo de combustible empleado para la producción de ACS y calefacción, ya que el gasoil genera una enorme cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>.

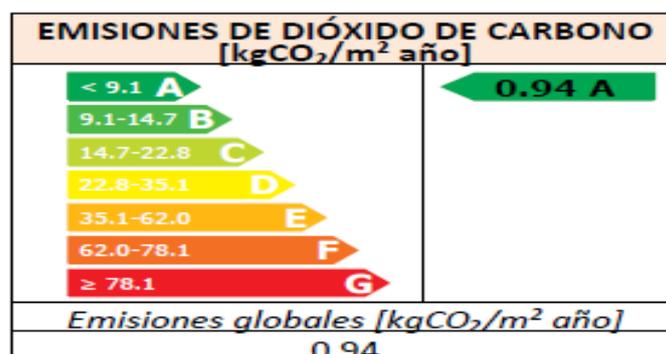
**Tabla 10. Certificación previa a las mejoras energéticas**



### 1.1.5.5.2 Certificación con mejoras de instalaciones

La letra de la vivienda mejora hasta una calificación de A. Esto no se ve influenciado en gran medida por la instalación solar térmica, ya que el mayor consumo de energía se emplea en la calefacción de la vivienda y no en el ACS producido por la energía solar. No obstante, el empleo de una caldera con un combustible de energía renovable hace que sea posible este gran salto, puesto que las emisiones de CO<sub>2</sub>, se reducen de forma elevada llegando al punto de considerarse nulas como se explica en el estudio medioambiental.

**Tabla 11. Certificación con las mejoras de instalaciones**



### 1.1.6 Resumen del presupuesto

**Tabla 12. Resumen del presupuesto**

Nº	OPERACIÓN/ELEMENTO	IMPORTE (€)
2.1	Instalación de energía solar térmica: -Captador -Tuberías -Vaso de expansión -Controlador solar -Grupo de bombeo solar	<b>2528,12</b> 1367,78 222,40 171,26 343,34 423,34
2.2	Caldera biomasa: -Caldera RTB 10KW -Salida de humos -Acumulador -Silo de pellets -Valvulería y montaje hidráulico	<b>7781,48</b> 4040,08 379,60 1351,38 1440,86 569,56
2.3	Subsistema de distribución de calefacción: -Film de polietileno -Plancha de aislamiento -Banda perimetral de aislamiento -Colectores de alimentación y de retorno -Caja para colectores -Codos guía -Tubo circuitos -Tubo caldera - colector -Bomba de impulsión -Termostato -Distribuidor señal termostato -Regulador	<b>4193,90</b> 74,8 821,04 76,64 427 90,75 17,1 600,15 134,82 388 225 94,7 700
2.4	Mortero Autonivelante - Ecomortero autonivelante Anhidrita	<b>1242,78</b> 1134
2.5	Nuevos elementos para el suelo -Baldosa convencional -Baldosa para baños y cocina	<b>1347,43</b> 896,25 161,1
OTROS GASTOS		500,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		<b>17593,71</b>
GASTOS GENERALES (15%)		2639,05
BENEFICIO INDUSTRIAL (10%)		1759,37
TOTAL PRESUPUESTO (SIN I.V.A)		<b>21992,13</b>

IMPUESTO DEL VALOR AÑADIDO (21%)	4618,34
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>26610,47</b>

El importe de ejecución material (sin I.V.A) del proyecto “Estudio de la eficiencia energética en la reforma de una vivienda unifamiliar en Isla (Cantabria)” asciende a **17,593,71 €**.

**Diecisiete mil quinientos noventa y tres euros con setenta y uno céntimos.**

### 1.1.7 Normativa

En la redacción del presente proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normativas y legislaciones:

- Código Técnico de la Edificación (CTE) (Aprobado por el Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006. BOE 28 de marzo de 2006).
- Orden FOM /588/2017 del 15 de junio por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE (BOE 23 de-junio-2017)
- Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” Exigencia básica HE 4:
- Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- Reglamentación de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Instalaciones de Energía Solar Térmica (PET-REV-Enero 2009).
- Criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis (Aprobados por el Real Decreto 865/2003).
- Normas básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua (NIA).
- Normativa UNE de aplicación.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Reglamento de recipientes a presión (RAP).
- Sistemas de aprovechamiento térmico (CENSOLAR).

La última normativa referente a la eficiencia energética, publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) con fecha 29 de Agosto de 2007, fue el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), tras las recomendaciones del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) aprobado el 17 de Marzo de 2006 y la necesidad de transponer la directiva 2002/91/CE, del 16 de Diciembre, además de incorporar nuevas directivas como Orden FOM /588/2017 del 15 de junio por

el que se actualiza el Documento Básico DB-HE (BOE 23 de-junio-2017) y por último la experiencia práctica de los últimos años.

Dicho nuevo reglamento se desarrolla con un enfoque basado en los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material, ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y técnicas innovadoras.

Por otra parte la necesidad de transponer la Directiva 2010/31/UE del parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, al ordenamiento jurídico español y la exigencia establecida en la disposición final segunda del Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, de proceder a una revisión periódica en intervalos no superiores a cinco años de la exigencia de eficiencia energética, hicieron necesario realizar una serie de modificaciones en el actual Reglamento de Instalaciones Térmicas.

Por ello el Consejo de Ministros de 5 de Abril aprobó el Real decreto 238/2013, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio.

La reglamentación establecida en los diferentes Reales Decretos es de carácter básica, por lo que las Comunidades Autónomas podrán introducir requisitos adicionales sobre las mismas materias se trate de instalaciones radicadas en su territorio.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

El nuevo CTE (Código Técnico de la Edificación), posibilita edificios más seguros, más habitables y más sostenibles, creando además el Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (CSICE), como órgano de participación de las administraciones públicas y de los Agentes de la Edificación.

La segunda parte está formada por una serie de “Documentos Básicos” donde se recogen las exigencias que deben cumplir los edificios, cuyas principales innovaciones son:

- a) Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE).
- b) Documento Básico de Seguridad frente a Incendios (DB-SI).
- c) Documento Básico de Seguridad en su Utilización (DB-SU).
- d) Edificios más saludables: Salud, higiene y protección del Medio Ambiente.
- e) Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE): el Documento Básico de Ahorro Energético es uno de los instrumentos de las nuevas políticas medioambientales del Gobierno. Establece las reglas y procedimientos que permite un cumplimiento de las exigencias básicas de ahorro de la energía. Consistiendo principalmente en el uso racional de la energía en los edificios, reduciendo a los límites sostenibles su consumo y la parte que sea posible que el consumo proceda de energías renovables. El cumplimiento de los requisitos mediante los mínimos establecidos asegura el ahorro de energía. Siendo esta muestra principal referencia en el proyecto tratado. Este documento a su vez se divide en cinco exigencias energéticas básicas:

- i. HE-1: Limitación de la Demanda Energética, donde se establecen los valores límite para los cerramientos de los edificios (fachadas, vidrios, cubiertas, etc.)
- ii. HE-2: Rendimiento de las Instalaciones Térmicas, que se desarrolla dentro del RITE y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.
- iii. HE-3 Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación.
- iv. HE-4 Contribución Solar mínima de Agua Caliente Sanitaria, que obliga a que la producción de agua caliente sanitaria se realice con un aporte obligatorio de energía solar térmica, que varía entre un 30% y un 70% dependiendo de la zona climática en la que se encuentra y la demanda total de ACS.
- v. HE-5: Contribución Fotovoltaica mínima de Energía Eléctrica, que establece que ciertos edificios han de disponer de sistemas de captación y transformación de la energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos.

Según las estimaciones del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de las Energías (IDEA), la implantación de las exigencias energéticas introducidas en el CTE supondrá, para casa edificio, un ahorro entre el 30% y el 40% y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía eléctrica de entre un 40% y un 55%.

### **Certificación:**

En cuanto a la certificación energética al ser una nueva condición impuesta en los últimos años tampoco hay demasiada legislación. En resumen, las exigencias establecidas en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo se transpusieron en el R.D. 47/2007 de 19 de enero, por el que se aprobó el *“Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción”* (Vigente hasta el 14 de Abril de 2013).

Con posterioridad la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, ha sido modificada mediante la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, circunstancia que ha hecho necesario transponer de nuevo al ordenamiento jurídico español las modificaciones que introduce con respecto a la Directiva modificada, creándose así el R.D. 235/2013, de 5 de abril que se aplica en la actualidad.

En resumen, el RD 235/2013 determina cual es el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios nuevos y deja claro que tendrá que ser desarrollado por el órgano correspondiente de cada una de las Comunidades Autónomas. Éstas tendrán que llevar el registro de las certificaciones energéticas en su ámbito territorial correspondiente, así como de realizar el control y la inspección

### 1.1.8 **Bibliografía**

#### Referenciadas en el texto:

- [1] Eficiencia Energética. <  
<http://www.coaatcan.com/certificacionenergetica/pdf/GUIA.pdf> >  
[consulta: Enero 2018].
- [2] Construcción21 España. <  
<http://www.construction21.org/espana/articulos/es/las-energias-renovables-en-edificacion-ventajas-y-viabilidad-en-eolica-solar-y-biomasa.html> > [consulta: Enero 2018].
- [3] Google Maps. < <https://www.google.es/maps> > [consulta: Enero 2018].
- [4] Viaje Jet. < <http://www.viajejet.com/clima-cantabria/> > [consulta: Enero 2018].
- [5] Wikipedia. <  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Colector\\_solar#Funcionamiento\\_de\\_los\\_coletores\\_planos](http://es.wikipedia.org/wiki/Colector_solar#Funcionamiento_de_los_coletores_planos) > [consulta: Enero 2018].
- [6] Sedigas. < [http://www.sedigas.es/dochome/Guia\\_solar\\_Sedigas.pdf](http://www.sedigas.es/dochome/Guia_solar_Sedigas.pdf) >  
[consulta: Enero 2018].
- [7] Ekidom. < <http://www.ekidom.com/tipos-de-instalaciones-solares-termicas> > [consulta: Enero 2018].
- [8] TERRA. < <http://www.terra.org/categorias/articulos/guia-practica-de-una-instalacion-de-energia-solar-termica> > [consulta: Enero 2018].
- [9] Zabalza, I; Llera, E; Aranda, A; Martínez, A; Scarppellini, S; Barrio, F. El ahorro energético en el nuevo Código Técnico de la Edificación. Madrid: Fundación Confemetal, 2007.
- [10] Calentadores de prolipropileno. <  
<http://www.h2sol.com.uy/polipropileno/index.html> > [consulta: Enero 2018].
- [11] Colector tubos vacío. < [http://www.anpasol-energiasolar.com/images/Panel\\_Sunrain3.jpg](http://www.anpasol-energiasolar.com/images/Panel_Sunrain3.jpg) > [consulta: Enero 2018].

- [12] Colector placa plana. < [http://img.archiexpo.es/images\\_ae/photo-mg/colector-solar-termico-plano-calefaccion-transparente-vidrio-antirreflejos-62355-5951753.jpg](http://img.archiexpo.es/images_ae/photo-mg/colector-solar-termico-plano-calefaccion-transparente-vidrio-antirreflejos-62355-5951753.jpg) > [consulta: Enero 2018].
- [13] Ingemecanica. < <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html> > [consulta Enero 2018].
- [14] Proyecto técnico-económico de la mejora de la eficiencia energética de un edificio, según la normativa del CTE, IDEA y CE3X. < <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/53831aba4a1e5.pdf> > [consulta: Enero 2018].
- [15] TFM. Casos prácticos de eficiencia energética en instalaciones de calefacción y ACS. < [https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4012/Jul2014\\_muimre\\_71447936T.pdf?sequence=1](https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4012/Jul2014_muimre_71447936T.pdf?sequence=1) > [consulta: Enero 2018].
- [16] Proyecto fin de carrera, Sustitución de una caldera de gasoil por una caldera de biomasa en el hogar de la tercera edad de Villamuriel de Cerrato < <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/2986/1/PFC-P-66%3B67.pdf> > [consulta: Enero 2018].
- [17] Junkers. < [http://www.junkers.es/usuario\\_final/inicio](http://www.junkers.es/usuario_final/inicio) > [consulta: Enero 2018].
- [18] Valinox. < <http://www.depositosvalinox.com/catalogo.pdf> > [consulta: Enero 2018].
- [19] Mendez Muñoz, J; Cuervo García, R; ECA INSTITUTO DE TECNOLOGIA Y FORMACIÓN S.A.U. Energía Solar Térmica. Madrid: Fundación Confemetal, 2008.
- [20] NBE. < <http://www.enerhogar.es/wp-content/uploads/2015/04/Cat%C3%A1logo-RTB.pdf> > [consulta: Enero 2018].
- [21] Geobox. < <http://geoplast.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=3594> > [consulta: Enero 2018].

- [22] Certificado de eficiencia energética. < <http://certificadodeeficienciaenergetica.com/que-es-certificado-eficiencia-energetica-definicion> > [consulta: Enero 2018].
- [23] Documento básico HE Ahorro de energía. < [http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_abril\\_2009.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf) > [consulta: Enero 2018].
- [24] Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. < [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5654\\_ST\\_Pliego\\_de\\_Condiciones\\_Tecnicas\\_Baja\\_Temperatura\\_09\\_082ee24a.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf) > [consulta: Enero 2018].
- [25] RITE. < <http://www.anese.es/area-privada/wp-content/uploads/2014/03/Rev-RITE-ANESE-.pdf> > [consulta: Enero 2018].
- [26] PFC. Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia < [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7794/PFC\\_David\\_Fuentes\\_Cantero.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7794/PFC_David_Fuentes_Cantero.pdf?sequence=1) > [consulta: Enero 2018].
- [27] POLIFEX. Suelo radiante. < <http://www.polyfex-eps.com/aislamiento-de-suelo-radiante/> > [consulta: Enero 2018].
- [28] Método de cálculo del sistema de distribución < <https://es.scribd.com/doc/75858772/Metodo-Calculo-Calefaccion-Suelo-Radiante> > [consulta: Enero 2018].
- [29] Wirsbo < <https://es.scribd.com/doc/20250192/Manual-Fontaneria-Wirsbo-Pex> > [consulta: Enero 2018].
- [30] Mortero autonivelante Anhivel < <https://www.anhivel.com/es/> > [consulta: Enero 2018].

No referenciadas en el texto:

- Aranda Uson, A; Díaz Ramírez, M; Llera Sastresa, E; Ortego Bielsa, A; Rezeau, A; Telmo Martinez, E; Zabalza Bribián, I. Integración de Energías Renovables en Edificios. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011.
- Boletín Oficial de Cantabria < <http://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=255808> > [consulta: Enero 2018].
- Gobierno de Cantabria < [www.Cantabria.es](http://www.Cantabria.es) > [consulta: Enero 2018].

Instituto para el Ahorro y Diversificación de la Energía < [www.idae.es](http://www.idae.es) > [consulta Enero 2018].

## 1.2 MEMORIA JUSTIFICATIVA

### 1.2.1 Cálculos

#### 1.2.1.1 Cálculo instalación solar térmica

##### 1.2.1.1.1 Datos de partida

Partimos de los siguientes datos según nuestro caso de estudio para el cálculo de la instalación:

- Provincia: Cantabria
- Localidad: Arnüero, Castillo
- Latitud: 43°27'27"N
- Longitud: 3°33'02"O
- Temperatura para abastecer: 60°C.
- Temperatura de ambiente:  $T_a$
- Temperatura de la red:  $T_r$
- Radiación media diaria:  $H$

**Tabla 13. Mensualidades de  $T_a$ ,  $T_r$  y  $H$**

Mes	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$T_r(^{\circ}\text{C})$	$H$ (KJdía/m <sup>2</sup> )
ENERO	9,7	8	5000
FEBRERO	10,3	9	7400
MARZO	10,8	11	11000
ABRIL	11,9	13	13000
MAYO	14,3	14	16100
JUNIO	17	15	17000
JULIO	19,3	16	18400
AGOSTO	19,5	15	15500
SEPTIEMBRE	18,5	14	13000
OCTUBRE	16,1	13	9500
NOVIEMBRE	12,5	11	5800
DICIEMBRE	10,5	8	4500

### 1.2.1.1.1.1 Zona climática

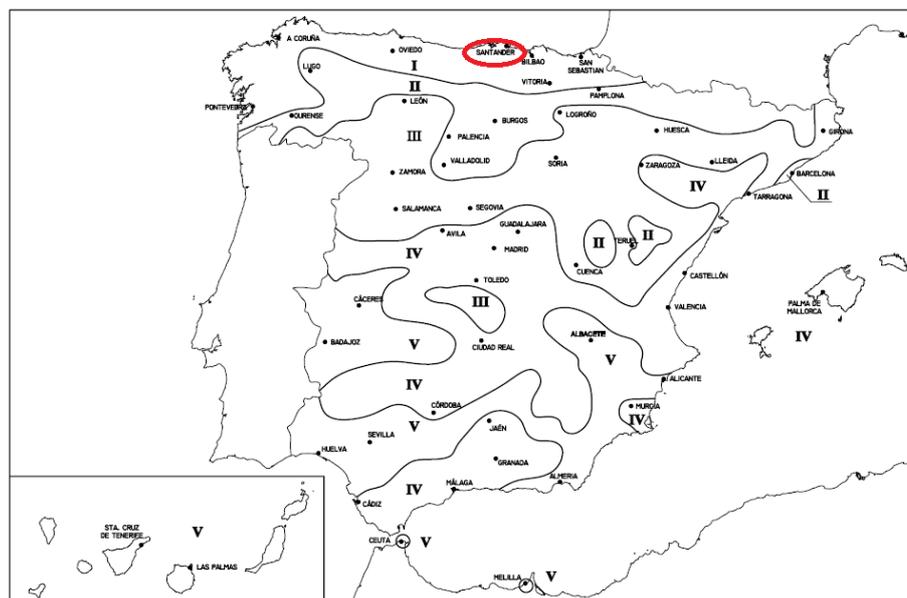
El apartado 3.1.2 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, define las zonas climáticas como aquellas que son homogéneas a efectos de la exigencia, indicando sus límites en un mapa y una tabla de localidades. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica en la tabla 14.

**Tabla 14. Radiación solar global. Fuente [23]**

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

A continuación, en la figura 35 se muestra un mapa en el cual se aprecian las diferentes zonas climáticas de la península. Como podemos ver, la zona climática de Cantabria a la cual pertenece nuestro edificio objeto es la Zona I.

**Figura 35. Zonas climáticas Fuente [23]**



### 1.2.1.1.2 Contribución solar mínima

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales, según se define en el apartado 2.1 de la Sección HE4, del DB HE del CTE.

Las contribuciones solares mínimas para la demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60 °C se recogen en siguiente tabla de la Sección HE4, según la zona climática en la que se situó la instalación.

**Tabla 85. Contribución solar mínima de ACS Fuente [23]**

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Como se puede observar en la tabla 15, para nuestra instalación la cobertura mínima exigida por el CTE es de un 30% de la demanda de ACS.

### 1.2.1.1.1.3 Demanda energética de ACS

En aquellas instalaciones, nuevas o existentes, en las que se conozca los datos de consumo de instalaciones similares, podrán utilizarse éstos, previa justificación (Siendo conveniente realizar tomas de datos de consumo de agua caliente, en el caso de que no los hubiera).

En caso de que no se disponga de dichos datos, se utilizarán para los consumos unitarios expresados en la tabla 16, tomando como temperatura de referencia, la temperatura de 60 °C.

**Tabla 16. Demanda de referencia a 60 °C Fuente [23]**

<b>Criterio de demanda</b>	<b>Litros/día-unidad</b>	<b>unidad</b>
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Sabiendo que el edificio objeto es una vivienda unifamiliar de cuatro personas, y por persona se necesitan 28 litros/día se calcula que se necesitaran 112 litros/día a 60°C.

A continuación, se exponen los valores de demanda de ACS mensuales para nuestro edificio en concreto.

**Tabla 17. Demanda de ACS**

Mes	Litros/Día	Nº de días	Litros Mensuales
ENE	112	31	3472
FEB	112	28	3136
MAR	112	31	3472
ABR	112	30	3360
MAY	112	31	3472
JUN	112	30	3360
JUL	112	31	3472
AGO	112	31	3472
SEP	112	30	3360
OCT	112	31	3472
NOV	112	30	3360
DIC	112	31	3472

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la ecuación (1):

$$Q_{acs} = C_e \cdot M \cdot N \cdot (T_{ac} - T_r) \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde:

- Q<sub>acs</sub>: carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (KJ/mes)
- C<sub>e</sub>: calor específico. Para el agua es 4,18 KJ/kg °C
- M: consumo medio diario, expresado en l/d
- N: número de días del mes
- T<sub>ac</sub>: temperatura del agua caliente de acumulación (°C)
- T<sub>r</sub>: temperatura del agua de red (°C)
- O: ocupación (tanto por uno)

Mes	Ce (KJ/kg°C)	Nº de días	M (l/d)	Tac (°C)	Tr (°C)	Qacs (KJ/mes)	Qacs (W)
ENE	4,18	31	112	60	8	754673,92	281,763
FEB	4,18	28	112	60	9	668532,48	276,344
MAR	4,18	31	112	60	11	711135,04	265,507
ABR	4,18	30	112	60	13	660105,6	254,670
MAY	4,18	31	112	60	14	667596,16	249,252
JUN	4,18	30	112	60	15	632016	243,833
JUL	4,18	31	112	60	16	638570,24	238,415
AGO	4,18	31	112	60	15	653083,2	243,833
SEP	4,18	30	112	60	14	646060,8	249,252
OCT	4,18	31	112	60	13	682109,12	254,670
NOV	4,18	30	112	60	11	688195,2	265,507
DIC	4,18	31	112	60	8	754673,92	281,763
ANUAL	4,18	365				<b>8156751,68</b>	3104,811

**Tabla 18. Demanda energética de ACS**

### **1.2.1.1.2 Cálculo de la producción energética de ACS**

#### **1.2.1.1.2.1 Predimensionamiento de la instalación**

Para el predimensionado de la superficie captadora se deben tener en cuenta las condiciones que exponen el CTE (DB HE-4) y el RITE (ITE 10.1.3.2):

Según RITE (ITE 10.1.3.2), el área total de los colectores tendrá un valor tal que se cumpla la condición de la ecuación (2):

$$1,25 \leq 100A/M \leq 2 \quad \text{Ec.(2)}$$

Donde:

- A: la suma de las áreas de los colectores, expresada en m<sup>2</sup>
- M: consumo medio diario de los meses de verano, expresado en l/d

Por lo tanto, nuestra superficie de captación tiene que ser:

$$1,4 \text{ m}^2 < A < 2,24 \text{ m}^2$$

Dada a la restricción en la superficie de captación el captador solar seleccionado es el modelo Junkers FKT-1W, debido a sus dimensiones que están dentro de las permitidas y su alto rendimiento solar.

Una vez establecida la superficie de captación, el CTE (DB HE-4 3.3.3.1) establece que para aplicaciones de ACS el área total de captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición de la ecuación (3):

$$50 < V/A < 180 \quad \text{Ec.(3)}$$

Por lo tanto, nuestra superficie de captación tiene que ser:

$$111,5 \text{ Litros} < V < 401,4 \text{ Litros}$$

Además, en las instalaciones cuyo consumo sea constante a lo largo del año, el volumen del depósito de acumulación cumplirá la condición:

$$0,8M \leq V \leq M \quad \text{Ec.(4)}$$

Para su dimensionamiento se elige un acumulador solar Valinox 2VTCE de 135 litros. Cumple los 2 requisitos descritos anteriormente, ya que su volumen es similar al consumo de la vivienda.

#### **1.2.1.1.3 Cálculo de la cobertura solar. Método F-Chart**

El método de cálculo utilizado será el de las curvas f (F-Chart), el cuál es el recomendado por el "CTE" (código técnico de la edificación) y el "Pliego de condiciones técnicas para instalación solar térmica de baja temperatura" del IDAE, ya que es el ampliamente aceptado por un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones.

El sistema F-Chart, permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas y de su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Para estudiar este parámetro indicativo se determina la fracción Aportación/Consumo, la cual se pretende que oscile lo más próxima a la unidad, lo que se consigue en los meses de verano, produciéndose un déficit energético en los meses invernales, el que deberá ser cubierto por un sistema de apoyo.

La ecuación utilizada en el siguiente método es la siguiente ecuación (5):

$$f = 1,029 * D_1 - 0,065 * D_2 - 0,245 * D_1^2 + 0,0018 * D_2^2 + 0,0215 * D_1^3 \quad \text{Ec.(5)}$$

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro  $D_1$ , que relaciona la energía absorbida por el captador con la carga calorífica mensual.
4. Cálculo del parámetro  $D_2$ , que relaciona la energía perdida por el captador con la carga calorífica mensual.
5. Determinación de la gráfica f.
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas

### **1.2.1.1.3.1 Energía teórica disponible**

Para el cálculo de la energía aprovechable que incide en un día medio de cada mes sobre cada metro cuadrado de superficie inclinada de los captadores, R, es necesario acudir a una tabla de irradiación horizontal media H de la provincia considerada y corregir estos valores en base a la inclinación.

Para la corrección de estos valores recurrimos a la siguiente ecuación (6):

$$R = H \cdot k \cdot k' \cdot k'' \quad \text{Ec.(6)}$$

Donde:

- R: radiación incidente en un día medio de cada mes sobre metro cuadrado de superficie inclinada (KJ día/m<sup>2</sup>)
- K: factor de corrección en función de la inclinación de los captadores y de la latitud del lugar en que se disponga la instalación. En el caso de castillo, latitud 43° y tomamos una inclinación de los captadores de 40°, debido a que el soporte del colector solar admite ángulos múltiplos de 5°.
- H: Radiación media diaria incidente horizontalmente en un m<sup>2</sup> de superficie (KJ·día/m<sup>2</sup>)
- K': efectos atmosféricos. El valor suele oscilar entre 0,75 y 1,20.
- K'': desviación respecto al sur geográfico. Se suele calcular mediante la expresión de la ecuación (7):

$$k'' = 1,14 - 0,0085 \cdot \beta \quad \text{Ec.(7)}$$

Donde:

$\beta$  = ángulo de desviación que debe estar comprendido entre 20° y 70°, intervalo de valores para los que la expresión anterior es válida.

Si el ángulo de desviación es inferior a 20°,  $k'' = 1$

**Tabla 19. Radiación incidente**

Mes	K	k'	k''	H (KJ día/m <sup>2</sup> )	R(KJ día/ m <sup>2</sup> )
ENE	1,43	1	1	5000	7150
FEB	1,33	1	1	7400	9842
MAR	1,2	1	1	11000	13200
ABR	1,07	1	1	13000	13910
MAY	0,98	1	1	16100	15778
JUN	0,95	1	1	17000	16150
JUL	0,98	1	1	18400	18032
AGO	1,09	1	1	15500	16895
SEP	1,25	1	1	13000	16250
OCT	1,44	1	1	9500	13680
NOV	1,56	1	1	5800	9048
DIC	1,54	1	1	4500	6930

**Tabla 20. Factor de corrección de K Fuente [24]**

**LATITUD = 43°**

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38

Los valores de radiación incidente H vienen proporcionados por la tabla 21:

**Tabla 21. Valores de radiación incidente en Cantabria Fuente [24]**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2 ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3 ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4 ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5 ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6 ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7 BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8 BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9 BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10 BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11 CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12 CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
<b>13 CANTABRIA</b>	<b>5</b>	<b>7,4</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>16,1</b>	<b>17</b>	<b>18,4</b>	<b>15,5</b>	<b>13</b>	<b>9,5</b>	<b>5,8</b>	<b>4,5</b>	<b>11,3</b>
14 CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15 CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16 CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9

#### 1.2.1.1.3.1.1 Cálculo de parámetro D<sub>1</sub>:

El parámetro D<sub>1</sub> expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes y se calcula mediante la ecuación (8):

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} \quad \text{Ec.(8)}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la expresión de la ecuación (9):

$$E_a = S_c \cdot Fr'(\tau_\alpha) \cdot R_1 \cdot N \quad \text{Ec.(9)}$$

Donde:

- S<sub>c</sub>: Superficie del captador (m<sup>2</sup>).
- R<sub>1</sub>: Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (KJ/m<sup>2</sup>).

- N: Número de días del mes.
- Fr' (τα): Factor adimensional que viene dado por la ecuación (10),

$$Fr'(\tau\alpha) = Fr(\tau\alpha)n \cdot \tau\alpha/\tau\alpha(n) \cdot Fr'/Fr \quad \text{Ec.(10)}$$

**Tabla 22. Valores de la ecuación (10)**

Fr (τα)n	τα/τα(n)	Fr'/Fr	Fr' (τα)
0,811	0,96	0,95	0,739632

Donde:

- Fr (τα)n: factor de eficiencia óptica del captador, es decir, la ordenada en el origen de la curva característica del captador.
- τα/τα(n): modificación del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).
- Fr'/Fr: Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

**Tabla 23. Cálculo de D<sub>1</sub>**

Mes	Sc(m <sup>2</sup> )	Fr' (τα)	R(KJ día/ m <sup>2</sup> )	N (Días)	Ea (KJ)	D <sub>1</sub>
ENE	2,23	0,74	7150,00	31,00	365584,94	0,45
FEB	2,23	0,74	9842,00	28,00	454529,37	0,63
MAR	2,23	0,74	13200,00	31,00	674926,03	0,89
ABR	2,23	0,74	13910,00	30,00	688286,01	0,97
MAY	2,23	0,74	15778,00	31,00	806741,13	1,13
JUN	2,23	0,74	16150,00	30,00	799124,30	1,18
JUL	2,23	0,74	18032,00	31,00	921989,87	1,35
AGO	2,23	0,74	16895,00	31,00	863854,19	1,23
SEP	2,23	0,74	16250,00	30,00	804072,44	1,16
OCT	2,23	0,74	13680,00	31,00	699468,80	0,96
NOV	2,23	0,74	9048,00	30,00	447707,53	0,61
DIC	2,23	0,74	6930,00	31,00	354336,17	0,44

### 1.2.1.1.3.1.2 Cálculo de parámetro D2:

El parámetro  $D_2$  expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes y se calcula mediante la ecuación (11):

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el colector}}{\text{Carga calorífica mensual}} \quad \text{Ec.(11)}$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente ecuación (12):

$$EP = Sc \cdot Fr \cdot UL \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad \text{Ec.(12)}$$

Donde:

-  $Sc$  : superficie del captador ( $m^2$ ).

$$Fr \cdot UL = Fr_{UL} \cdot (Fr \cdot Fr) \quad \text{Ec.(13)}$$

Donde:

- $Fr_{UL}$ : pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).
- $t_a$ : temperatura media mensual del ambiente ( $^{\circ}C$ ).
- $\Delta t$  : periodo de tiempo considerado en segundos (s).
- $K_1$ : factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de la ecuación (14):

$$K_1 = [\text{kg de acumulación} / (75Sc)] - 0,25 \quad \text{Ec.(14)}$$

$$37,5 < (\text{kg de acumulación}) / (m^2 \text{ de captador}) < 300$$

- $K_2$ : factor de corrección, para ACS, que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la ecuación (15):

$$K_2 = 11,6 + 1,18tac + 3,86tr - 2,32 ta / (100 - ta) \quad \text{Ec.(15)}$$

Donde:

- tac: temperatura mínima de ACS.
- tr: temperatura del agua de red.
- ta: temperatura media mensual del ambiente.

**Tabla 24. Cálculo de  $K_2$**

Mes	Tacs	Tr	Ta	$K_2$
ENE	60	8	9,7	1,01
FEB	60	9	10,3	1,04
MAR	60	11	10,8	1,12
ABR	60	13	11,9	1,19
MAY	60	14	14,3	1,20
JUN	60	15	17	1,22
JUL	60	16	19,3	1,23
AGO	60	15	19,5	1,18
SEP	60	14	18,5	1,15
OCT	60	13	16,1	1,14
NOV	60	11	12,5	1,10
DIC	60	8	10,5	0,99

**Tabla 25. Cálculo de  $D_2$**

Mes	Fr'UL	Ta	$\Delta$ tiempo	$K_1$	$K_2$	Ep (KJ)	$D_2$
ENE	0,00347	9	2678400	0,47	1,01	886461,49	1,10
FEB	0,00347	9,1	2419200	0,47	1,04	827034,95	1,15
MAR	0,00347	11,2	2678400	0,47	1,12	962789,29	1,26
ABR	0,00347	12,3	2592000	0,47	1,19	979922,91	1,39
MAY	0,00347	14,2	2678400	0,47	1,20	1001822,09	1,40
JUN	0,00347	17,1	2592000	0,47	1,22	944691,82	1,40
JUL	0,00347	18,9	2678400	0,47	1,23	967829,79	1,41
AGO	0,00347	19,3	2678400	0,47	1,18	923444,20	1,32
SEP	0,00347	18,1	2592000	0,47	1,15	881303,60	1,27
OCT	0,00347	15,4	2678400	0,47	1,14	930482,60	1,27
NOV	0,00347	11,9	2592000	0,47	1,10	905107,23	1,23
DIC	0,00347	9,7	2678400	0,47	0,99	869359,41	1,08

### 1.2.1.1.3.1.3 Cálculo de la cobertura solar

Una vez obtenido  $D_1$  y  $D_2$ , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil captada cada mes,  $Q_u$ , tiene el valor descrito en la ecuación (16).

$$Q_u = f \cdot Q_a \quad \text{Ec.(16)}$$

Mes	F	f(%)	Qacs (KJ)	Qutil (KJ)	Qacs (MJ)	Qutil (MJ)
ENE	0,34805034	34,8050341	754673,92	278896,332	754,67392	278,896332
FEB	0,48715591	48,7155912	668532,48	344599,881	668,53248	344,599881
MAR	0,65494003	65,4940033	711135,04	490397,333	711,13504	490,397333
ABR	0,7025788	70,2578802	660105,6	487429,344	660,1056	487,429344
MAY	0,79225257	79,2252573	667596,16	554205,52	667,59616	554,20552
JUN	0,82129056	82,1290557	632016	543351,39	632,016	543,35139
JUL	0,9060146	90,60146	638570,24	603638,488	638,57024	603,638488
AGO	0,85475213	85,4752132	653083,2	583779,163	653,0832	583,779163
SEP	0,81856675	81,8566751	646060,8	553868,839	646,0608	553,868839
OCT	0,69942854	69,942854	682109,12	501639,321	682,10912	501,639321
NOV	0,46220362	46,2203623	688195,2	336717,472	688,1952	336,717472
DIC	0,33788408	33,7884079	754673,92	270825,322	754,67392	270,825322
<b>TOTAL</b>			8156751,68	5549348,41	8156,75168	5549,34841
						0,68033803

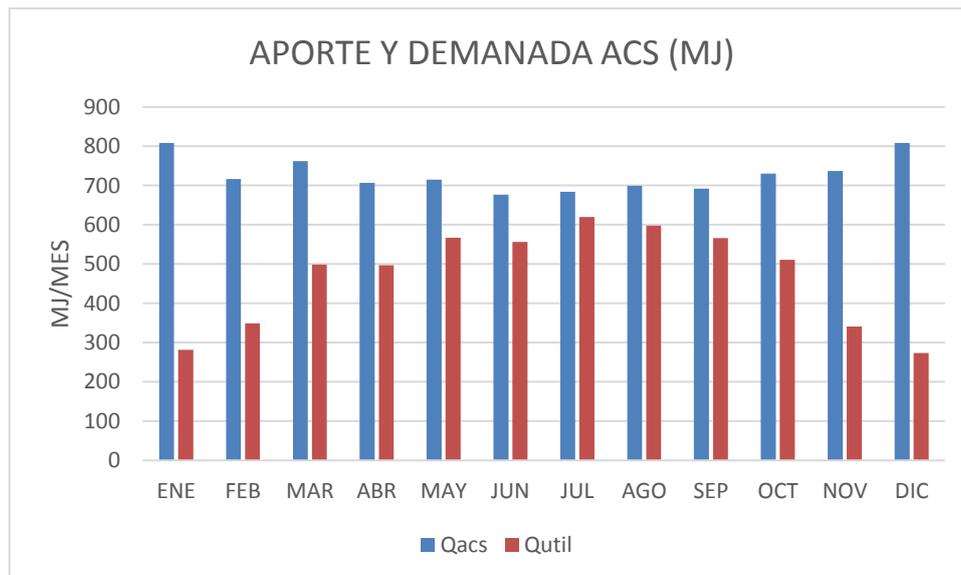
**Tabla 26. Cálculo de la fracción de carga mensual**

### Cálculo de la fracción de carga mensual

$$f = \frac{5549,34}{8156,75} = \mathbf{0,6803}$$

La instalación tendrá una cobertura solar anual del **68,03%** con una superficie de captación de 2,23 m<sup>2</sup>, lo que equivale a 1 captador, por lo tanto, cumple las especificaciones del CTE en su DB HE-4 en la contribución solar mínima y en las limitaciones de dimensionado que impone este, tales como que en ningún mes se sobrepasará el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%.

**Tabla 27. Aporte y demanda de ACS (KJ)**



#### **1.2.1.1.4 Cálculo de pérdidas de los colectores**

Las pérdidas son calculadas para determinar los límites de orientación e inclinación de los módulos para que no superen las pérdidas máximas permisibles. Se expresan como porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras.

En el CTE, en la sección HE 4 sobre la contribución solar mínima para A.C.S, se establecen unas pérdidas máximas de energía solar debidas a la colocación e inclinación de los captadores, así como de sombras producidas por obstáculos.

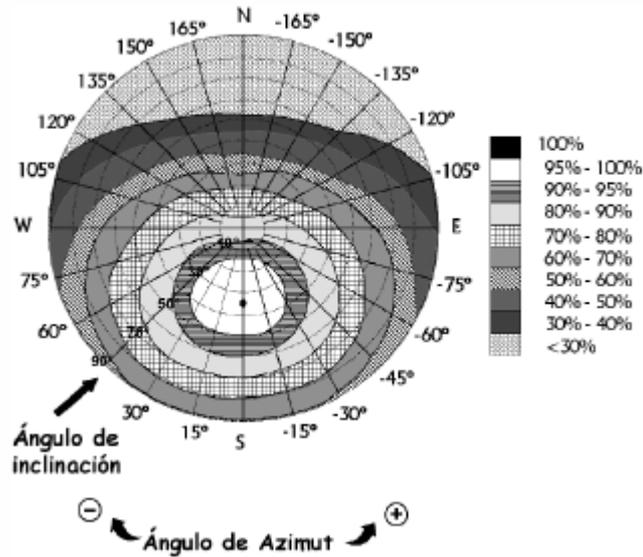
**Tabla 28. Pérdidas máximas permitidas Fuente [23]**

Caso	Orientación e Inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitect.	40%	20%	50%

##### **1.2.1.1.4.1.1 Pérdidas por orientación e inclinación**

Para determinar las pérdidas por orientación e inclinación son fundamentales dos valores:

- *Ángulo de inclinación ( $\beta$ )*, definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. En nuestro caso  $\beta=40^\circ$ .
- *Ángulo de Azimut ( $\alpha$ )*, definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y meridiano del lugar. En nuestro caso orientación Sur.



**Figura 36. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas de orientación e inclinación Fuente [23]**

Por tanto, mirando la figura 36 con nuestros valores, vemos que tenemos entre un 95% a 100% de aprovechamiento de energía irradiada por el sol. Se puede afirmar que las pérdidas producidas en los paneles son inferiores al 5%.

#### **1.2.1.1.4.1.2 Pérdidas por sombras**

No existe ningún obstáculo, por lo que no hay pérdidas de este tipo.

#### **1.2.1.1.5 Sistema de acumulación**

El volumen de acumulación es una magnitud que permite un cierto grado de elección entre unos límites, teniendo en cuenta que un volumen excesivamente pequeño no permite que el colector transfiera suficiente calor para hacer efectivo su funcionamiento en las horas de emisión solar, y que un volumen excesivamente grande reduzca la productividad.

El CTE establece en el punto 3.3.3.1, de la Sección HE4, del DB HE, que el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición de la ecuación (3) descrita anteriormente.

$$50 \leq V/A \leq 180$$

$$V/A = 120/2,24 = 53,7$$

Siendo:

A: la suma de las áreas de los captadores, en m<sup>2</sup>

V: el volumen del depósito de acumulación solar, en litros.

El acumulador Valinox 2VTCE de 135 litros de acumulación cumple la condición, ya que está dentro de los límites permitidos.

#### **1.2.1.1.6 Sistema de intercambio**

El intercambiador de calor del sistema de captación solar debe ser capaz de disipar toda la energía procedente de los colectores solares hacia el depósito de acumulación.

Según el apartado 3.3.4 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, cualquier intercambiador de calor existente entre el circuito de captadores y el sistema de suministro al consumo no debería reducir la eficiencia del captador debido a un incremento en la temperatura de funcionamiento de los captadores.

Dentro de este apartado establece que, para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

$$S_{\text{intercambiador}} > 0,15 S_c \quad \text{Ec.(17)}$$

$$S_{\text{intercambiador}} > 0,15 \cdot 2,23 = 0,335 \text{ m}^2$$

Siendo:

- $S_{\text{intercambiador}}$  = superficie útil del intercambiador interno, en  $\text{m}^2$ .
- $S_c$  = superficie total de captadores instalados, en  $\text{m}^2$ .

Cumple dado que el intercambiador seleccionado de nuestro acumulador Valinox 2VTCE de 135 litros posee una superficie de  $0,48 \text{ m}^2$ .

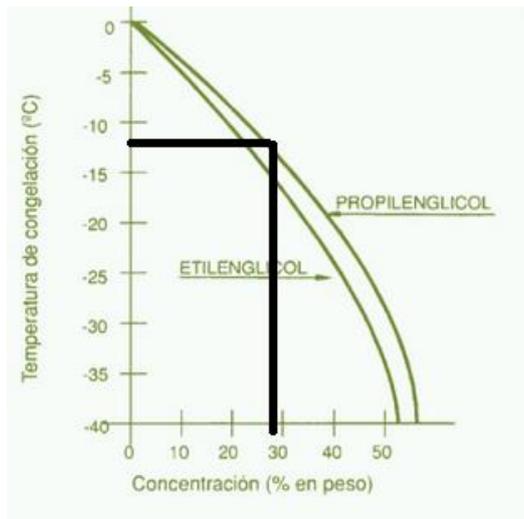
#### **1.2.1.1.7 Circuito primario**

##### **1.2.1.1.7.1 Fluido caloportador**

El colector solar está conectado con el resto de la instalación solar por el circuito hidráulico primario por el que circula el fluido caloportador, que ha sido elegido en base a las siguientes especificaciones.

El municipio de Arnauero tiene una temperatura mínima registrada de  $-3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , por lo que se hace necesaria la utilización de un anticongelante para la protección contra heladas.

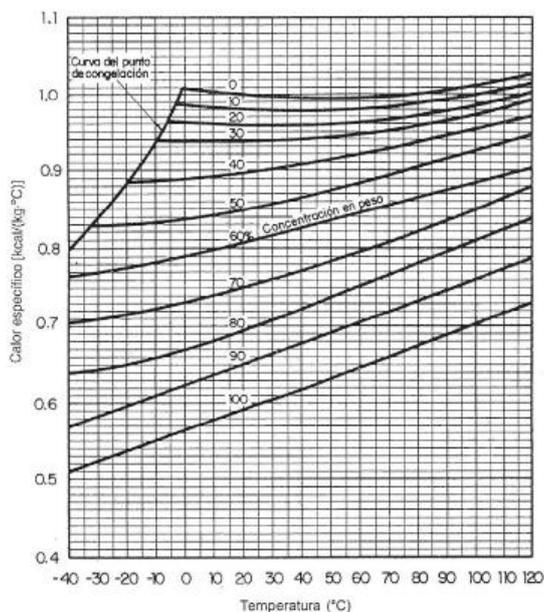
El fluido de trabajo para la instalación solar es una mezcla de agua con propilenglicol que garantiza una protección frente a helada de hasta  $-11,8^\circ\text{C}$  (8 grados menos que la mínima histórica) según la proporción de anticongelante que contenga la mezcla.



**Figura 37. Porcentaje de propilenglicol en función de la  $T^a$  de congelación**

La proporción de anticongelante (propilenglicol) será de 28% del peso total del fluido caloportador en todo el circuito primario, siendo el resto de la mezcla agua de red.

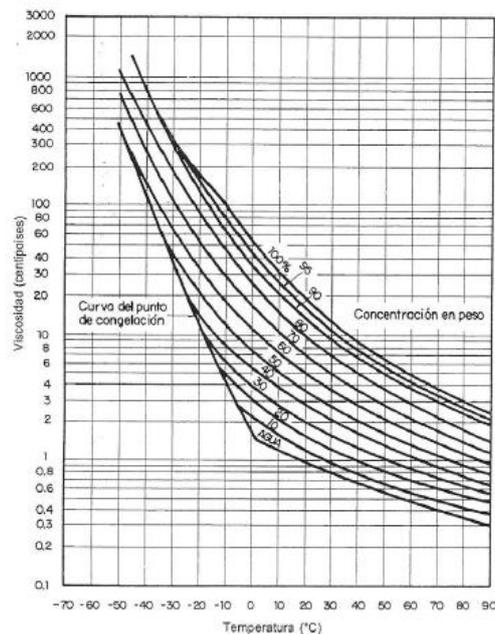
El calor específico de la mezcla es de 0,94 kcal/kg °C a 45 °C y se obtiene de la figura 35.



**Figura 38. Calor específico de la mezcla de propilenglicol y agua en función de la  $T^a$  y concentración**

Referente al rango de temperaturas de trabajo del fluido, en ningún momento el calor específico es inferior a 0,7 kcal/kg °C tal y como indican las especificaciones técnicas.

El valor de la viscosidad es de 1,2 centipoises a 45 °C, este valor se ha obtenido de la siguiente figura 39.



**Figura 39. Viscosidad de la mezcla en función de la Tª y la concentración**

Hemos de tener en cuenta que para un caso hipotético en que el fluido de trabajo este a una temperatura inferior a 45 °C, el grado de viscosidad será mayor y habría que tener en cuenta para el cálculo de la pérdida de carga en las tuberías, una viscosidad de 3 centipoises que corresponde a una temperatura del fluido de 10 °C.

La calidad del agua de la red es buena y se considera que no es necesario ningún tratamiento especial que se utilizará en el circuito primario, ya que cumple con lo establecido en el CTE.

### **1.2.1.1.7.2 Cálculo de red de tuberías**

En el diseño de la red tuberías se ha tratado de limitar al máximo las pérdidas térmicas, buscando los trazados de menor longitud y limitar en todo lo posible las pérdidas de carga evitando codos o accesorios innecesarios.

Según el apartado 3.3.5.1 de la Sección HE4, del DB HE del CTE, establece que el caudal del fluido portador se determinara de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto. En su defecto su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100m<sup>2</sup> de red de captadores, lo que equivale a 43,2 l/hm<sup>2</sup> y 72 l/hm<sup>2</sup>, respectivamente.

Los valores de diseño del circuito primario que se han considerado son:

- Velocidad en las tuberías < 1,5 m/s
- Caudal aproximado de 50 l/h por m<sup>2</sup> de superficie captadora.
- Pérdida de carga admisible en las tuberías por metro lineal < 40 mm.c.a

El dimensionado de la red de tuberías del circuito primario se realizará tanto para el retorno como para la impulsión, teniéndose en cuenta para los cálculos de los diámetros de las conducciones las pérdidas de carga en todos los accesorios que componen el circuito.

El diámetro de la tubería se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D = j \cdot C^{0,35} \quad \text{Ec.(18)}$$

Donde:

- D: diámetro en cm
- C: caudal en m<sup>3</sup>/h
- j: 2,2 para tuberías metálicas

Antes de proceder con el cálculo del diámetro, se necesita estimar el caudal al que trabajará la instalación. El caudal recomendado por el fabricante de los colectores solares es de 50 l/h por m<sup>2</sup> y colector cuando el fluido caloportador es agua. Para otros fluidos se debe dividir este valor por el calor específico correspondiente.

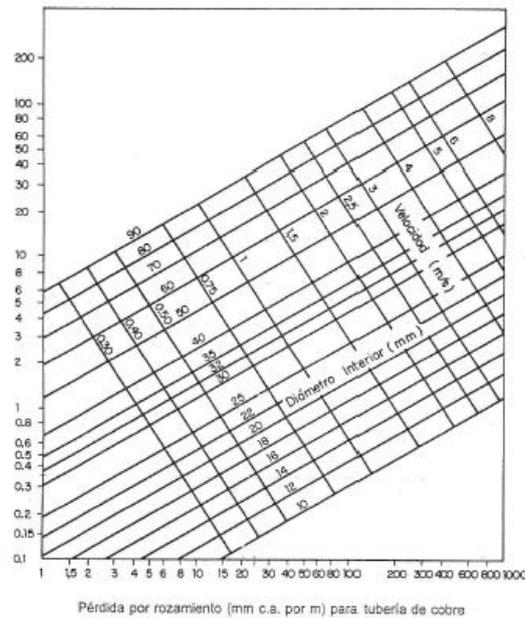
$$C = \frac{50 \frac{l}{m^2 h} \cdot 2,23 m^2}{0,94 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}} = 119,11 \frac{l}{h} = 0,119 m^3/h \quad \text{Ec.(19)}$$

Sustituyendo el valor del caudal en la ecuación (18) resulta:

$$D = j \cdot C^{0,35} = 2,2 \cdot 0,11911^{0,35} = 1,04 \text{ cm}$$

Se toma como valor normalizado más próximo el tubo de diámetro nominal 14 mm (diámetro interior = 12 mm).

A partir del siguiente ábaco, se puede determinar la pérdida de carga debida al rozamiento, así como la velocidad del fluido. Hay que tener en cuenta que, al ser un fluido caloportador distinto de agua, a los resultados obtenidos en estos ábacos se debe de aplicar un factor corrector igual a la raíz cuarta del cociente entre la viscosidad de la disolución y la del agua a la temperatura considerada.



**Figura 40. Coeficiente de fricción de tubería de cobre**

El factor de corrección será el descrito en la ecuación (20).

$$Factor = \sqrt[4]{\frac{3}{155}} = 1,53 \quad \text{Ec.(20)}$$

Por lo tanto, se tiene una pérdida de carga de:

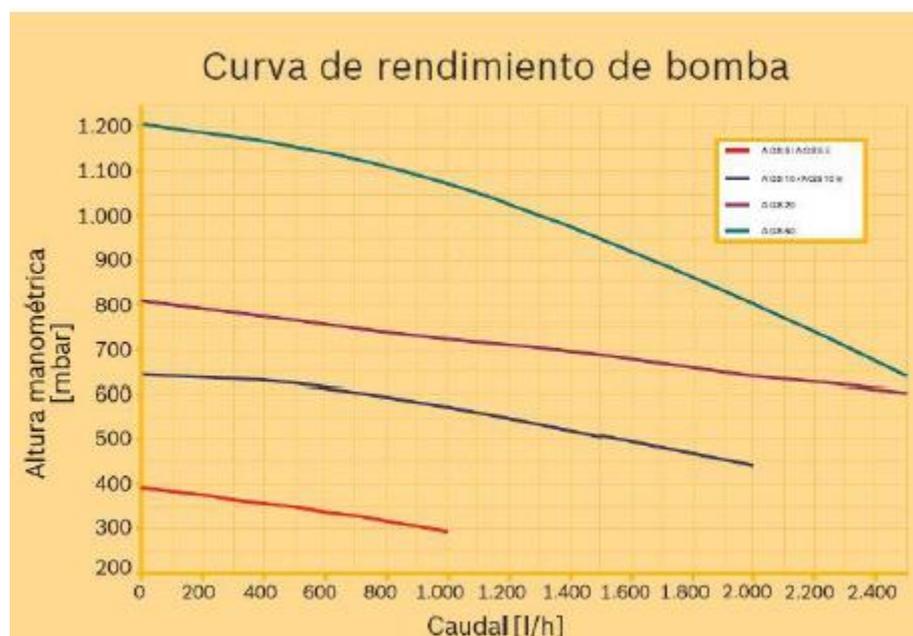
$$1,53 \cdot 12mm. c. a = 18,36mm. c. a$$

A partir de este ábaco también se puede obtener una aproximación a la velocidad del fluido, en este caso alrededor de 0,25 m/s. Estos dos valores sí se encuentran dentro de los límites admisibles.

### 1.2.1.1.8 Cálculo de la bomba

Los dos valores característicos de una bomba de circulación son la altura manométrica  $H$  que proporciona la bomba o pérdida de carga que es capaz de vencer, y el caudal de circulación  $Q$ , cuya relación viene determinada por su curva característica, propia de cada aparato y que debe suministrar el fabricante.

**Tabla 29. Curva de rendimiento de la bomba**



La bomba del circuito primario debe elegirse a partir de las condiciones nominales de trabajo, definidas por el caudal de circulación y la pérdida de carga total del circuito. El caudal de circulación se ha indicado en el apartado anterior, y la pérdida de carga del circuito se determina fundamentalmente por:

- Las pérdidas de carga correspondientes al tramo más desfavorable de tuberías.
- La pérdida de carga producida por el intercambiador de calor, viene indicado por el fabricante.
- La pérdida de carga de los colectores solares, viene indicada por el fabricante

$$\Delta H = H_{Tuberias} + H_{intercambiador} + H_{colector} \quad \text{Ec.(21)}$$

$$\Delta H = 0,426 + 1,2 + 0,15 = 1,77 \text{ m. c. a}$$

### Cálculo de pérdidas de carga:

Ahora se procede al cálculo de las pérdidas de carga admisibles, para las pérdidas de carga totales se tiene que multiplicar por la longitud de tuberías, incluyendo en esta longitud, las longitudes equivalentes causados por los elementos singulares, es decir, consiste en sustituir el accesorio por una longitud equivalente de tubería que origine por rozamiento la misma pérdida. Las longitudes equivalentes que se utilizan aparecen en la tabla 30.

**Tabla 30. Longitudes equivalentes de los accesorios**

Clase de resistencia aislada	Diámetros nominales de las tuberías	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
		10	15	20	25	32	40	50	65	80	100
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,09	0,12	0,15
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,85	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,75	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21
	te de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70
	te arqueada o de curvas ("pantálicas")	1,50	1,68	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40
	te confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
	te derivación a ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90
	válvula retención de balente de pistón	0,20 1,33	0,30 1,70	0,55 2,32	0,75 2,85	1,15 3,72	1,50 4,67	1,90 5,75	2,65 6,91	3,40 8,40	4,85 11,1
	válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	30,0
	válvula de compuerta abierta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,68	0,81	1,00
	válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80
	válvula de globo	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,80	11,1	13,7	17,1
	válvula de asiento de paso recto	-	3,40	3,60	4,50	5,65	6,10	9,00	-	-	-
	intercambiador	-	-	-	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	-
	radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50
	radiador con válvula	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40	12,70
	caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50
	caldera con válvula	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,00
	contador general individual o divisorio	4,5 m.c.a. 10 m.c.a.									

Los elementos singulares del circuito primario (circuito solar) se han desglosado en la tabla 31, en las que se muestran las longitudes equivalentes obtenidas para cada uno de los tramos de éste:

**Tabla 31. Longitudes equivalentes de elementos del circuito primario**

Cantidad	Singularidad	Le	Total
1	Salida depósito	1	1
1	Entrada depósito	1	1
5	Válvula de corte	1,2	6
7	Codo de 90º	0,5	3,5
1	Derivación T	2,5	2,5
1	Válvula de retención	1,2	1,2
<b>Total Singularidades</b>			<b>15,2</b>

La longitud equivalente correspondiente a las singularidades será de 15,2 m. A este resultado hay que sumarle la longitud real de tubería, por lo que se tendrá una longitud total de:

$$L_{total} = L_{real} + L_e = 8 + 15,2 = 23,2 \text{ m} \quad \text{Ec.(22)}$$

Teniendo en cuenta que la pérdida de carga por metro lineal de tubería es de 18,36 mm.c.a/m, se tiene una pérdida total de:

$$\Delta H = 23,2 \text{ m} \cdot 18,36 \text{ mm.c.a/m} = 425,952 \text{ mm.c.a} = 0,426 \text{ m.c.a}$$

#### **1.2.1.1.9 Cálculo de vaso de expansión**

Para la determinación de la capacidad del vaso de expansión se debe tener en cuenta dos aspectos:

- Volumen total de la instalación.
- K: coeficiente de dilatación del fluido.

Se colocará el depósito de expansión en el circuito cerrado de captadores del que dispone la instalación, (circuito primario).

El volumen total de la mezcla de propilenglicol más agua en el circuito primario será el calculado con la ecuación (23).

$$V_{total} = V_{Tuberías} + V_{Captadores} + V_{Intercambiador} \quad \text{Ec.(23)}$$

El volumen total de fluido en las tuberías obtenido mediante la ecuación (24).

$$V_{Tuberías} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot 1000 = \frac{\pi 0,012^2}{4} \cdot 23,2 \cdot 1000 = 2,62 \text{ litros} \quad \text{Ec.(24)}$$

El volumen total de fluido en los captadores es de:

$$V_{Captador} = 1,76 \text{ litros}$$

El volumen total en los intercambiadores es de:

$$V_{Intercambiador} = 2,71 \text{ litros}$$

Por lo que el volumen total de fluido en el circuito primario es:

$$V_{Total} = 7,09 \text{ litros}$$

Para hallar el volumen del vaso de expansión del circuito primario se debe obtener el factor de presión  $F_p$ , el cual se define por la ecuación (25):

$$F_p = \frac{P_f - P_i}{P_f} \quad \text{Ec.(25)}$$

Donde:

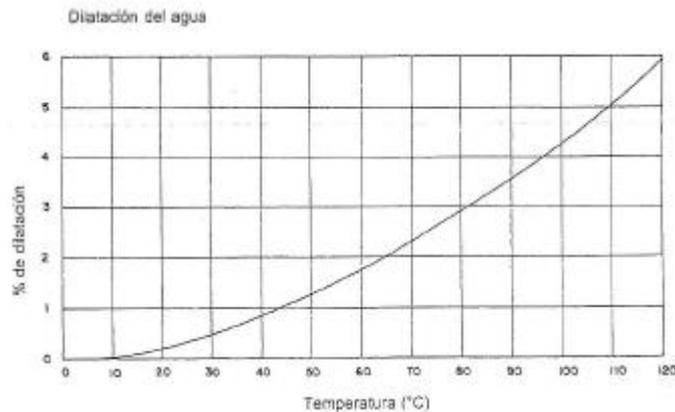
- $P_f$ : presión máxima de trabajo (10 bar)
- $P_i$ : presión absoluta de la altura manométrica (1,7 bar)

$$F_p = 0,83$$

El coeficiente K de dilatación del fluido es:

$$K_{Mezcla} = K_{agua} \cdot 1,2 = 0,43$$

El coeficiente de dilatación del agua se ha obtenido del siguiente gráfico para una temperatura de 90°C.



**Figura 41. Dilatación del agua en función de la Tª**

El volumen del vaso de expansión queda calculado en la ecuación (26):

$$V = \frac{K}{100} \cdot VT \cdot \frac{1}{Fp} = \frac{4,3}{100} \cdot 7,09 \cdot \frac{1}{0,83} = 0,37 \text{ litros} \quad \text{Ec.(26)}$$

El vaso que más se ajusta a las necesidades de la instalación es de 18 litros (el mínimo elegible), por lo tanto, cumple los requisitos correspondientes.

El vaso de expansión se colocará en la aspiración del grupo de bombeo, tal y como establece el CTE DB-HE 4.

### 1.2.1.1.10 Aislamiento de tuberías

Las conducciones hidráulicas se aislarán con coquilla de caucho e irán protegidas con pintura de cloro-caucho. El aislamiento será espuma elastomérica, ArmaFlex, tanto en las tuberías exteriores como en las interiores.

Se realiza el cálculo mediante el método simplificado, según el RITE IT 1.2.4.2.1.2.

Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios:

**Tabla 32. Espesores mínimos de aislamiento en tuberías interiores en edificios. (Fuente: [25])**

Diámetro Exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	>60... 100	>100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Por lo tanto, el espesor mínimo para tuberías y accesorios en el interior del edificio será de 25 mm.

Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios:

**Tabla 33. Espesores mínimos de aislamiento en tuberías exteriores en edificios. (Fuente: [25])**

Diámetro Exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60... 100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Por lo tanto, el espesor mínimo para tuberías y accesorios en el exterior del edificio será de 35 mm.

### 1.2.1.2 Cálculo necesidades de calefacción

Se decide realizar el cálculo de dos formas diferentes, la primera para unas condiciones de diseño (par a las condiciones más extremas en invierno) establecidas en la RITE, es decir para un valor establecido, y en segundo lugar, se calcularán las necesidades mensuales de la vivienda.

La temperatura de diseño interior se tomará en 21 °C y una humedad relativa del 55% y las condiciones exteriores vendrán fijadas a continuación:

- **Condiciones de diseño:**

Las condiciones del ambiente exterior vienen definidas por temperatura seca, temperatura húmeda, radiación solar y por la velocidad y dirección del viento. Según la norma UNE 100 001 085 y la UNE 100 002 088, que proporcionan los valores de temperatura exterior para las condiciones de invierno para dos niveles de percentiles estacionales, NP 99% y NP

97,5%. Para el edificio que se estudia, el nivel de percentil es de 97,5%.

Los datos son:

**Tabla 34. Condiciones de diseño de invierno y verano**

Localidad	Longitud Latitud Altitud (m)	Condiciones de invierno				Condiciones de verano				
		NPE %	TS °C	GD/año K	Viento m/s dirección	NPE %	TS °C	THc °C	TH °C	OMD °C
Salamanca Matacán (10 años)	5° 29' W	99	-6,3	2 030	5,5	1	32,4	19,8	21,0	15,6
	40° 57' N	97,5	-4,9		W	2,5	31,1	19,9	20,2	
	789				5	29,7	19,2	19,3		
Santander Casco urbano (10 años)	3° 39' W	99	+3,0	985	5,2	1	25,3	20,2	21,2	5,9
	43° 28' N	97,5	+3,8		W	2,5	24,1	19,7	20,4	
	64				5	23,1	18,8	19,9		

- **Condiciones mensuales:**

**Tabla 35. Tª media y humedad relativa mensuales en Cantabria**

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tª Media (°C)	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
HR Media (%)	71	71	71	74	75	77	78	78	77	75	73	72

### 1.2.1.2.1 Cálculo de los parámetros de la envolvente térmica

Se utiliza el documento “Código Técnico de Edificación, documento de apoyo al documento básico (DB-HE Ahorro de Energía)” para realizar el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del edificio.

### **1.2.1.2.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior:**

Se acude a lo que describe el capítulo 2.1.1. del documento “*DA DB-HE / 1 “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente”* para el cálculo de los cerramientos asociados a los muros exteriores de nuestro edificio y a la cubierta del mismo.

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) viene dada por la ecuación (27):

$$U = \frac{1}{Rt} \quad \text{Ec.(27)}$$

Donde:

-  $Rt$ : resistencia térmica total del componente constructivo ( $m^2K/W$ ).

La resistencia térmica total  $Rt$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la ecuación (28):

$$Rt = Rse + R1 + R2 + \dots + Rn + Rsi \quad \text{Ec.(28)}$$

Donde:

-  $Rse$  y  $Rsi$  son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire exterior e interior respectivamente, de acuerdo con la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio ( $m^2 k/W$ ).

-  $R1, R2, \dots, Rn$  son las resistencias térmicas de cada capa ( $m^2 \cdot K/W$ ).

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la ecuación (29):

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ec.(29)}$$

Donde:

- e: espesor de la capa (m).
- $\lambda$ : conductividad térmica del material de la capa (W/m·K). Para la obtención de los diferentes valores de los componentes de la envolvente térmica se acudirá al software Ce3x, herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

**Tabla 36. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con aire exterior**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal 	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente 	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente 	0,04	0,17

Para las cámaras de aire en la envolvente térmica, se ha de tener en cuenta que las cámaras de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica, no obstante, para este caso, que se trata de cámaras de aire sin ventilar, la resistencia térmica viene definida en la siguiente tabla en función de su espesor. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Los valores son aplicables cuando la cámara:

- Esté limitada por dos superficies paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección del flujo de calor y cuyas emisividades sean superiores a 0,8;
- Tengan un espesor menor a 0,1 veces cada una de las otras dos dimensiones y no mayor a 0,3 m;
- No tenga intercambio de aire con el ambiente interior.

**Tabla 37. Resistencias térmicas de cámaras de aire**

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

#### 1.2.1.2.1.1 Muro exterior

Se considera muro exterior del edificio a todos aquellos muros que cierran el edificio y dan al exterior. El muro exterior de nuestra vivienda está compuesto por ladrillo macizo 0,115 m de espesor, un aislante de espuma de poliuretano de 0,02 metros de espesor, una cámara de aire sin ventilar y para finalizar un tabicón ladrillo hueco doble con un acabado en yeso de aproximadamente 0,02 metros.

**Tabla 38. Transmitancia térmica del muro exterior**

Muro exterior				
Material	Espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)
1/2 Pie LP métrico o catalán [60mm<G<80mm]	0,115	0,567	0,20	
Espuma de poliuretano proyección con CO <sub>2</sub>	0,02	0,035	0,57	
Cámara de aire sin ventilar	0,1		0,19	
Tabicón ladrillo hueco doble[60mm<E<90mm]	0,07	0,432	0,16	
Yeso, baja dureza	0,02	0,18	0,11	
Rsi			0,13	
Rse			0,04	
<b>Total</b>	0,305		1,41	<b>0,71</b>

### 1.2.1.2.1.1.2 Cubierta

Se considera cubierta del edificio al forjado que cierra el edificio en la parte superior y da al exterior. En este caso se trata de una cubierta inclinada y está formada por una teja de hormigón de espesor de 0,02 metros, mortero de cemento o cal para albañilería de 0,05 metros de espesor, un aislante térmico de espuma de poliuretano de 0,02 metros de espesor y para finalizar un forjado de hormigón de 0,3 metros de espesor.

*Tabla 39. Transmitancia térmica de la cubierta*

Cubierta				
Material	Espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Teja de Hormigón	0,02	1,5	0,01	
Mortero de cemento o cal para albañilería	0,05	0,7	0,07	
Espuma de poliuretano proyección con CO <sub>2</sub>	0,02	0,035	0,57	
Forjado unidireccional de hormigón aligerado	0,3	1,22	0,24	
Yeso, baja dureza	0,02	0,18	0,11	
Rsi			0,13	
Rse			0,04	
<b>Total</b>	0,41		1,18	<b>0,84</b>

### 1.2.1.2.1.2 Cerramientos en contacto con el terreno

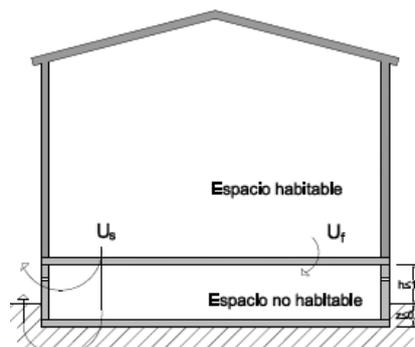
En este caso, no se dispone de ningún cerramiento que esté en contacto con el terreno, ya que como se puede observar en los planos o en la descripción del edificio, éste consta de una planta baja que no es habitable. Por lo tanto, la superficie habitable de nuestra vivienda se sitúa sobre un espacio no habitable, es decir, para el cálculo del suelo acudiremos al siguiente apartado del CTE.

### 1.2.1.2.1.3 Particiones interiores con espacios no habitables

Se acude a este capítulo del CTE al capítulo “2.1.3. *Particiones interiores en contacto con espacios no habitables*” para el cálculo de los cerramientos del suelo de nuestro edificio. Esto se debe a que, como se ha mencionado anteriormente, la vivienda tiene la particularidad de estar asentada sobre una superficie no climatizada.

En primer lugar, se consideran en este apartado el caso de cualquier partición interior en contacto con un espacio no habitable que a su vez esté en contacto con el exterior, por lo tanto, el suelo de este caso tampoco se podría calcular de esta forma.

No obstante, suponemos que nuestra vivienda unifamiliar se encuentra en contacto con cámara sanitaria y, de esta forma, que sea aplicable esta metodología de cálculo. Una vez dicho, que suponemos que es una cámara sanitaria se procede a su cálculo.



**Figura 42. Cámara sanitaria**

Según el CTE, este apartado es aplicable para cámaras de aire ventiladas por el exterior que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) que tengan una altura  $h$  inferior o igual a 1 m;
- b) que tengan una profundidad  $z$  respecto al nivel del terreno inferior o igual a 0,5 m.

Como nuestro suelo no cumple la condición a), pero sí la b), la transmitancia del cerramiento en contacto con la cámara se puede calcular mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.1.1. “Cerramientos en contacto con aire exterior”.

#### 1.2.1.2.1.3.1 Suelo

Hace referencia a la superficie que mantiene en contacto la planta baja con la planta principal de la vivienda (planta primera habitable). Su composición empieza con hormigón armado de 0,25 metros de espesor, seguido de un panel aislante de espuma de poliuretano de 0,02 metros de espesor, una mopa de 0,03 metros de espesor sobre la que va el tubo de suelo radiante, un motero de anhidrita de 0,06 metros de espesor y finaliza con cola de albañilería y azulejo.

**Tabla 40. Transmitancia térmica del suelo**

Suelo				
Material	Espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Azulejo cerámico	0,02	1,3	0,02	
Mortero de cemento o cal para albañilería	0,03	0,7	0,04	
Espuma de poliuretano proyección con CO <sub>2</sub>	0,02	0,035	0,57	
Hormigón armado	0,25	2,3	0,11	
Mopa corcho	0,03	0,035	0,85	
Mortero Anhidrita	0,06	1,7	0,035	
Rsi			0,17	
Rse			0,17	
<b>Total</b>	0,41		1,970803	0,5074074

#### **1.2.1.2.1.4 Huecos y lucernarios**

La transmitancia térmica de los huecos UH (W/m<sup>2</sup>·K) se determina mediante la ecuación (30):

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \quad \text{Ec.(30)}$$

Siendo,

- $U_{H,v}$ : la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m<sup>2</sup>·K]
- $U_{H,m}$ : la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [W/m<sup>2</sup>·K]
- FM: la fracción del hueco ocupada por el marco.

##### **1.2.1.2.1.4.1 Ventanas**

El cálculo de la transmitancia térmicas de las ventanas depende de la transmitancia térmica de sus componentes y de las dimensiones de estos. Esta vivienda consta de ventanas compuestas por los mismos materiales, marco de madera ( $U_m$  de 2,5 W/m<sup>2</sup>K) y ventanas de vidrio simple ( $U_v$  de 5,7 W/m<sup>2</sup>K). No obstante, la diferencia de dimensiones hace que sus transmitancias globales varíen como se observa a continuación.

- **Ventana tipo 1, V1:**

Medias de 0.8 metros de ancho por 1.2 metros de alto, lo que hace que su FM sea 27.12 %.

- **Ventana tipo 2, V2:**

Medias de 1.5 metros de ancho por 1.2 metros de alto, lo que hace que su FM sea 19.91 %.

- **Ventana tipo 2, V2:**

Medias de 1.6 metros de ancho por 1.7 metros de alto, lo que hace que su FM sea 13.83 %.

**Tabla 41. Transmitancia térmica de las ventanas**

Ventanas	Uv (W/m2K)	Um (W/m²K)	FM	Ut (W/m²K)
V1	5,7	2,5	0,27	<b>4,83</b>
V2	5,7	2,5	0,19	<b>5,06</b>
V3	5,7	2,5	0,13	<b>5,25</b>

#### 1.2.1.2.1.4.2 Puertas

Se tratan de puertas de madera cuyo valor de conductividad térmica es de 0.2 W/m·K. Se calcula un valor único que vale para todas las puertas de nuestro edificio.

**Tabla 42. Transmitancia térmica de puertas**

Puerta	Espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m²K/W)
Puerta	0,04	0,2	0,2
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>U (W/Km²)</b>			<b>2,70</b>

### **1.2.1.2.2 Necesidades de calefacción**

En este apartado se realizan los cálculos necesarios para determinar las pérdidas térmicas de la vivienda a través de cerramientos y de ventilación. Primero se realizará el cálculo de la potencia de diseño (para las condiciones más extremas en invierno) y luego se realizará el cálculo mensual.

Esta carga térmica se calcula mediante la ecuación (31):

$$Q_{\text{CALEFACCIÓN}} = Q_{\text{TRANSMISIÓN}} + Q_{\text{VENTILACIÓN}} + Q_{\text{INFILTRACIONES}} \quad \text{Ec.(31)}$$

#### **1.2.1.2.2.1 Cálculo de pérdidas por transmisión:**

La carga térmica de transmisión representa las pérdidas de calor debidas a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior a través de los distintos cerramientos del edificio:

Se calcula mediante la ecuación (32).

$$Q_{\text{transm}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Ec.(32)}$$

Donde:

- $Q_{\text{transm}}$ : carga por transmisión (W)
- U: coeficiente global de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>)
- A: superficie del cerramiento (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$ : salto de temperatura entre el recinto interior y el adyacente (°C)

También, para una mayor precisión en los cálculos según la normativa se les ha aplicado un coeficiente de orientación.

El coeficiente de orientación es un factor adimensional empleado para tener en cuenta la ausencia de radiación solar y la presencia de vientos dominantes sobre los muros, en función de su orientación. En los muros de separación con otros locales o en los cerramientos no verticales no se tiene en cuenta. Habitualmente se emplean los siguientes valores para los coeficientes de orientación

-Norte: 1,15

-Sur: 1,00

-Este: 1,10

-Oeste: 1,05

En lugar de calcular la carga térmica por habitaciones, se ha decidió realizar el cálculo en base a su orientación y, de esta manera, poder aplicar el coeficiente por orientación.

A continuación, se recoge la tabla en la cual aparecen tanto las superficies de cada orientación como las de las ventanas y puertas que contiene cada fachada de la vivienda.

- Cálculo carga térmica de transmisión de diseño:

**Tabla 43. Carga térmica de transmisión de diseño**

Orientación	Zona	Coefficiente orientación	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/Km <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> int (°C)	T <sup>o</sup> ext(°C)	Q <sub>trans</sub> (W)
Norte	Muro Exterior	1,15	26,88	0,71	21	3,8	377,77
	V1	1	0,96	4,83	21	3,8	79,78
	V2	1	1,8	5,06	21	3,8	156,74
	V3	1	0	5,25	21	3,8	0
	Puerta	1	0	2,70	21	3,8	0
Este	Muro Exterior	1,1	23,69	0,71	21	3,8	318,47
	V1	1	0	4,83	21	3,8	0
	V2	1	1,8	5,06	21	3,8	156,74
	V3	1	2,72	5,25	21	3,8	245,96
	Puerta	1	1,84	2,70	21	3,8	85,76
Sur	Muro Exterior	1	23,52	0,71	21	3,8	287,44
	V1	1	0,96	4,83	21	3,8	79,78
	V2	1	3,6	5,06	21	3,8	313,49
	V3	1	0	5,25	21	3,8	0
	Puerta	1	3,48	2,70	21	3,8	162,00
Oeste	Muro Exterior	1,05	25,14	0,71	21	3,8	322,6
	V1	1	0,96	4,83	21	3,8	79,78
	V2	1	1,8	5,06	21	3,8	156,74
	V3	1	0	5,25	21	3,8	0
	Puerta	1	0	2,70	21	3,8	0
-	Suelo	1	80,52	0,507407	21	8	531,116861
	Cubierta	1	128,15	0,84	21	3,8	1862,89
							4320,91598

- Cálculo carga térmica de transmisión mensual:

**Tabla 44. Carga térmica de transmisión mensual**

Mes	Qtrans(W)
ENE	3609,715
FEB	3446,250
MAR	3310,029
ABR	3010,342
MAY	2356,480
JUN	0,000
JUL	0,000
AGO	0,000
SEP	0,000
OCT	1866,084
NOV	2846,877
DIC	3391,761
ANUAL	23837,538

#### **1.2.1.2.2 Cálculo de pérdidas por ventilación**

Para mantener la salubridad de la vivienda y la calidad del aire es necesaria la renovación del aire ambiente. En las viviendas esto ocurre de forma natural, dependiendo del tipo de estación se aplica una tasa de renovación de aire diferente.

El aire exterior introducido será compensado con el mismo caudal de aire extraído o expulsado por ventanas y puertas, con el fin de mantener la misma cantidad de aire seco en el interior de la vivienda.

Se debe tener en cuenta que hay un caudal de admisión que es la suma de los correspondientes a los locales vivideros (estares, dormitorios) y otro de extracción, suma de los correspondientes a cocinas y aseos (excluyendo la ventilación adicional). El caudal total que ha de ventilar la vivienda será el mayor de ellos.

**Tabla 45. Caudales de ventilación mínimos exigidos por DB-HS-3**

Locales	caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ (L/s)		
	por ocupante (L/s.pers)	por $m^2$ útil (L/s· $m^2$ )	en función de otros parámetros
Dormitorios	5 <sup>(1)</sup>		
salas de estar y comedores	3 <sup>(1)</sup>		
Aseos y cuartos de baño			15 L/s por local
Cocinas		2	
trasteros y sus zonas comunes		0,7	
aparcamientos y garajes			120 L/s por plaza <sup>(3)</sup>
almacenes de residuos		10	

Para realizar el cálculo de los caudales necesarios para el edificio que se está estudiando se acude a los caudales mínimos exigidos por el documento DB-HS-3 que se recogen en la tabla anterior.

Y ahora como los caudales de admisión deben ser los mismos caudales que los caudales de extracción, quiere decir, que el caudal total que ha de ventilar la vivienda será el mayor de ellos. Por lo que se ha añadido una columna más en la que se describe el caudal modificado. No obstante, este cálculo se realiza para las condiciones más desfavorables que más tarde se recalculará para los correspondientes datos mensuales como se ha hecho anteriormente con el resto de cálculos.

**Tabla 46. Caudales de ventilación de la vivienda**

CTE		DATO	q(l/s)			q(l/s)	q(l/s)
			Por ocupante	Por $m^2$ útil	Otros parámetros	TOTAL	TOTAL (Equilibrado)
<b>ADMISIÓN</b>							
	Dormitorio 1	2	5			10	12
	Dormitorio 2	1	5			5	7
	Dormitorio 3	1	5			5	7
	Salón	4	5			20	26,36
						<b>40</b>	<b>52,36</b>
<b>EXTRACCIÓN</b>							
	WC 1				15	15	15
	WC 2				15	15	15
	Cocina	11,18		2		22,36	22,36
						<b>52,36</b>	<b>52,36</b>

Una vez calcula el volumen de aire que se desea ventilar en nuestro edificio, se procede realizar el cálculo de las cargas térmicas y, para ello se acude a la ecuación (33):

$$Q_{vent} = V_{vent} \cdot \rho \cdot Cp \cdot \Delta\theta \quad \text{Ec.(33)}$$

Donde:

- $V_{vent}$ : Volumen de aire de cada persona y tiempo (l/s).
- $Cp$ : Calor específico del aire a temperatura exterior (1,009 KJ/Kg°C)
- $\rho$ : Densidad del aire de ventilación a temperatura exterior (1.225 kg/m<sup>3</sup>)
- $\Delta\theta$ : Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.

#### 1.2.1.2.2.2.1 Carga térmica por ventilación de diseño

Para la calcular la carga térmica por ventilación de diseño se tendrán en cuenta las condiciones más desfavorables, aunque este valor solamente se refleja en la diferencia de temperatura y que se reúne en la tabla siguiente.

**Tabla 47. Cargas térmicas de diseño por ventilación**

	ADMISIÓN	$\Delta\theta$	$\rho$	$Cp$	Q(W)
<b>Dormitorio 1</b>	12	17,2	1,23	1,01	255,11
<b>Dormitorio 2</b>	7	17,2	1,23	1,01	148,81
<b>Dormitorio 3</b>	7	17,2	1,23	1,01	148,81
<b>Salón</b>	26,363	17,2	1,23	1,01	560,46
<b>WC 1</b>	0	17,2	1,23	1,01	0,00
<b>WC 2</b>	0	17,2	1,23	1,01	0,00
<b>Cocina</b>	0	17,2	1,223	1,01	0,00
<b>TOTAL</b>	52,363				<b>1113,21</b>

### 1.2.1.2.2.2 Carga térmica por ventilación mensual

Como se ha hecho anteriormente con las cargas térmicas por ventilación se procederá a calcular las pérdidas de una forma más detallada, es decir, mensualmente.

**Tabla 48. Cargas térmicas de ventilación mensuales**

Mes	$\Delta\theta$	Dormitorio 1	Dormitorio 2	Dormitorio 3	Salón	Q <sub>Total</sub> (W)	Q <sub>total</sub> (MJ)
ENE	11,3	167,60	97,77	97,77	368,21	731,35	1958,87
FEB	10,7	158,70	92,57	92,57	348,66	692,52	1675,35
MAR	10,2	151,28	88,25	88,25	332,37	660,16	1768,18
ABR	9,1	134,97	78,73	78,73	296,52	588,97	1526,61
MAY	6,7	99,37	57,97	57,97	218,32	433,6	1161,45
JUN	4	59,32	34,60	34,60	130,34	0	0
JUL	1,7	25,21	14,70	14,70	55,39	0	0
AGO	1,5	22,24	12,97	12,97	48,87	0	0
SEP	2,5	37,08	21,63	21,63	81,46	0	0
OCT	4,9	72,67	42,39	42,39	159,66	317,13	849,42
NOV	8,5	126,07	73,54	73,54	276,97	550,13	1425,95
DIC	10,5	155,73	90,84	90,84	342,14	679,58	1820,18
<b>TOTAL</b>						<b>4653,51</b>	<b>12186,04</b>

### 1.2.1.2.2.3 Carga térmica por infiltraciones

En el caso del edificio, esta carga no se tendrá en cuenta al considerar que los habitáculos interiores se encuentran en sobrepresión con respecto al exterior, por lo tanto, las infiltraciones de aire exterior son despreciables.

### 1.2.1.2.2.4 Resumen de cargas totales

- **Condiciones de diseño:**

$$Q_{\text{Calefacción}} = Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{ventilación}} + Q_{\text{infiltraciones}}$$

$$Q_{\text{Calefacción}} = 4320,91W + 1113,2W + 0 = 5434,11 W$$

- Necesidades mensuales:

*Tabla 49. Resumen de cargas térmicas mensuales de calefacción*

Mes	Qtrans(W)	Qvent (W)	Q Calefacción(W)
<b>ENE</b>	3609,715	731,358	4341,074
<b>FEB</b>	3446,250	692,525	4138,775
<b>MAR</b>	3310,029	660,164	3970,193
<b>ABR</b>	3010,342	588,970	3599,312
<b>MAY</b>	2356,480	433,637	2790,118
<b>JUN</b>	0,000	0,000	0,000
<b>JUL</b>	0,000	0,000	0,000
<b>AGO</b>	0,000	0,000	0,000
<b>SEP</b>	0,000	0,000	0,000
<b>OCT</b>	1866,084	317,138	2183,222
<b>NOV</b>	2846,877	550,137	3397,013
<b>DIC</b>	3391,761	679,581	4071,342
<b>ANUAL</b>	23837,538	4653,510	<b>28491,049</b>

### 1.2.1.3 Calculo de la instalación de suelo radiante

#### 1.2.1.3.1 Circuitos de la instalación

La instalación contará con un total de 9 circuitos, uno para cada estancia de la vivienda. La longitud del circuito, entre ida y retorno, no puede superar los 120 metros. Esta longitud viene dada por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l \quad \text{Ec.(34)}$$

Dónde,

- A: es el área de la superficie a calefactar (m<sup>2</sup>)
- e: es la separación entre tuberías (m)
- l: es la distancia del colector a la dependencia (m)

Dependencia	Área(m2)	Distancia al colector (m)	Separación tubos(m)	Longitud del circuito(m)
Salón	22,92	2,7	0,20	120
Dormitorio 1	11,7	4,1	0,20	66,7
Dormitorio 2	9,88	5,5	0,20	60,4
Dormitorio 3	9,34	5,3	0,20	57,3
WC 1	3,8	3,2	0,10	44,4
WC 2	3,33	4,1	0,10	41,15
Cocina	11,18	3,1	0,20	62,1
Hall	3,53	0,3	0,20	18,25
Pasillo	5,5	0,4	0,20	28,3
Caldera-colector				25,20

**Tabla 50. Longitud en metros de los circuitos de la instalación**

La separación entre tubos será en todas las estancias de la vivienda de 20 cm excepto en los lavabos (será de 10 cm), que al ser más pequeños necesitan una mayor concentración de tuberías para poder cubrir las necesidades térmicas. De esta forma, la longitud de tubo total necesaria para la instalación será de 523,8 metros.

#### **1.2.1.3.2 Cálculo del caudal de la instalación**

Para el cálculo del caudal de la instalación, se debe calcular con anterioridad el caudal de los diversos circuitos que tiene la instalación. Para el cálculo de los caudales de los diversos circuitos se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{DEcalefaccion}{Cp, agua \cdot p \cdot \Delta T} \quad \text{Ec.(35)}$$

Dónde,

- DEcalefacción: es la carga de calefacción de la dependencia (kcal/h) (1 kcal/h = 1,163 W)
- Cp: agua, es el calor específico del agua (1 kcal/kg·°C)
- P: es la densidad del agua (1 kg/l)
- ΔT: es el salto de temperatura entre la impulsión y el retorno (se consideran 10°C)

**Tabla 51. Caudales de la instalación**

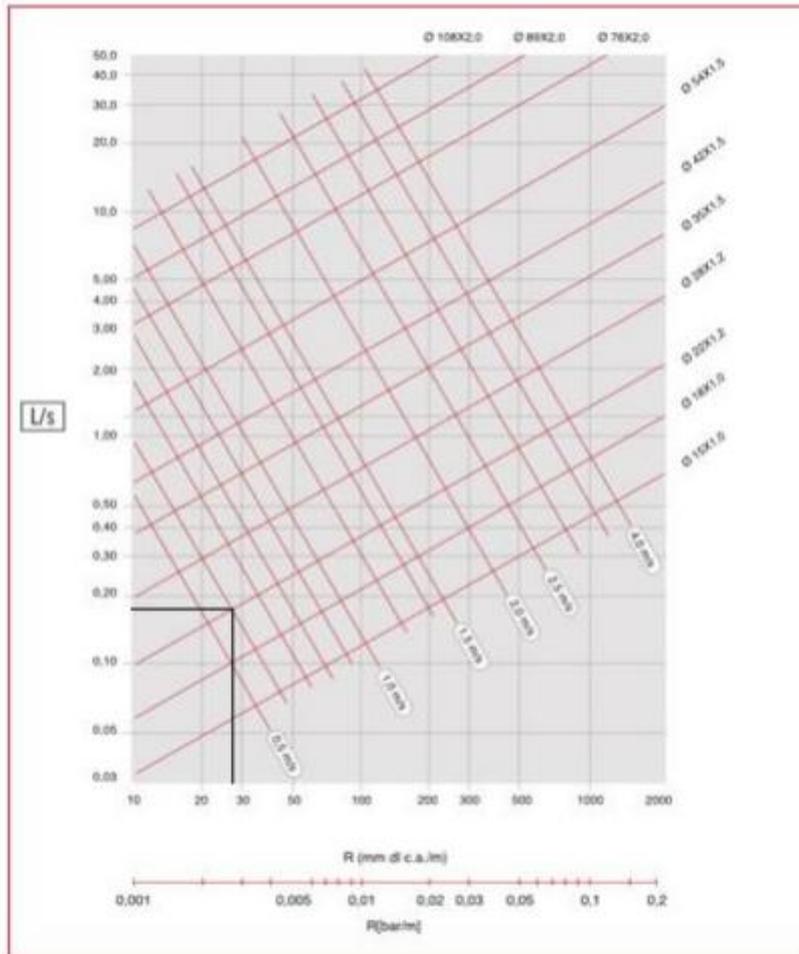
Dependencia	Potencia térmica(W)	Potencia térmica (Kcal/h)	Caudal(l/h)
Salón	1465,24	1259,88	125,99
Dormitorio 1	1153,5	991,83	99,18
Dormitorio 2	713	613,07	61,31
Dormitorio 3	938,11	806,63	80,66
WC 1	372,36	320,17	32,02
WC 2	431	370,59	37,06
Cocina	1117,36	960,76	96,08
Hall	160,28	137,70	13,77
Pasillo	196,56	168,70	17,03

El caudal total de la instalación será de 563,1 l/h, que será el caudal que circulará entre la caldera y los colectores.

#### **1.2.1.3.3 Cálculo de las pérdidas de carga**

Para dimensionar correctamente la instalación, se deben calcular las pérdidas de carga de los circuitos.

Inicialmente debe calcularse la pérdida de carga del circuito que va desde el colector hasta la caldera, hecho con tuberías de cobre. Para ello se utilizará el ábaco de la tabla 52 (proporcionado por la compañía suministradora de los tubos de cobre), en el que se debe indicar el caudal y el diámetro de la tubería.

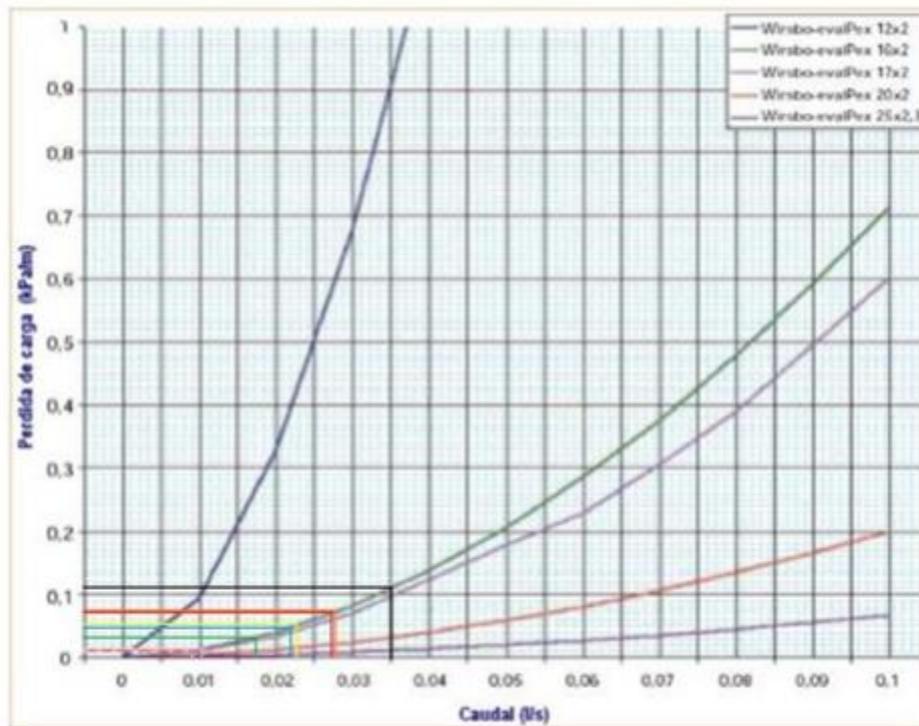


**Tabla 52. Pérdidas de carga para un tubo de 22 mm de diámetro**

De esta forma, las pérdidas en la tubería que va desde la caldera hasta el colector, las pérdidas de carga tienen un valor de 28 mmca/m. Se tienen un total de 25,20 metros de longitud en esa tubería. Se puede calcular la pérdida de carga total y se considera un 30% de incremento por los accesorios que se pueden encontrar por el camino:

$$H = 28 \cdot 25,20 \cdot 1,3 = 917,28 \text{ mmca} = 8,99 \text{ kPa}$$

Una vez calculada la pérdida de carga de la tubería principal, se deben calcular las pérdidas de carga del resto de tramos de la instalación. Para ello se procede de la misma forma que con las tuberías de cobre, pero esta vez utilizando un ábaco para tuberías de polietileno (Tabla 53).



**Tabla 53. Abaco para el caculo de las pérdidas de carga de los circuitos para una tubería de 16mm**

**Tabla 54. Pérdidas de carga de los circuitos**

Dependencia	Caudal(l/s)	Pérdidas de carga (KPa/m)	Pérdidas de carga (KPa)
Salón	0,035	0,11	13,2
Dormitorio 1	0,028	0,07	4,66
Dormitorio 2	0,017	0,03	1,81
Dormitorio 3	0,022	0,04	2,29
WC 1	0,009	0,01	0,44
WC 2	0,01	0,015	0,61
Cocina	0,027	0,065	4,03
Hall	0,003	0,003	0,05
Pasillo	0,004	0,004	0,11

De esta forma, si se suman todas las pérdidas, tanto del tramo entre la caldera y el colector como de los circuitos, se obtiene que las pérdidas de carga de la instalación son:

$$H_{Total} = 36,19 \text{ kPa}$$

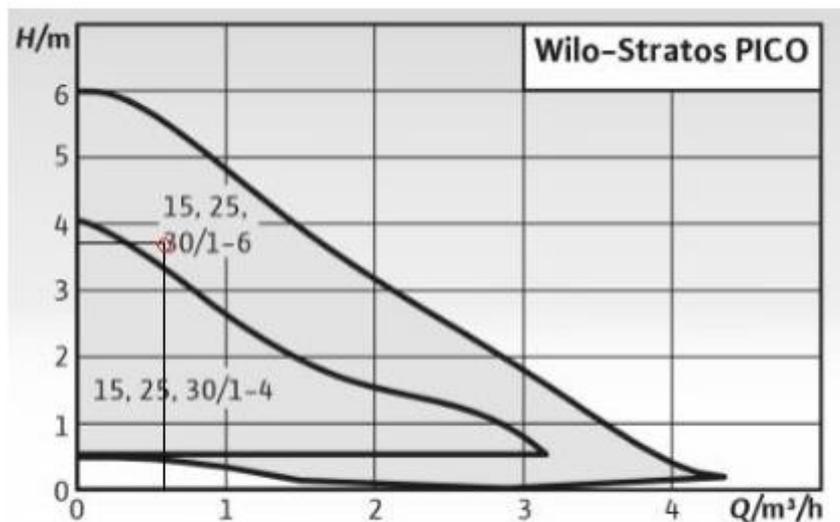
Una vez conocidas las pérdidas de carga de la instalación, es posible seleccionar la bomba que se va a incorporar en ella.

#### 1.2.1.3.4 Selección de la bomba

La gran pérdida de carga y la baja temperatura diferencial de un sistema de suelo radiante requiere una bomba más grande que un sistema tradicional de radiadores para un edificio del mismo tamaño. Conocidas las pérdidas de carga de la instalación, ya es posible realizar una selección de la bomba que se va a utilizar.

Se decide utilizar una bomba de la compañía “Wilo”, concretamente el modelo “WiloStratos PICO”. Este modelo tiene dos tamaños, dependiendo de las necesidades de la instalación

Para seleccionar la bomba que se va a utilizar se debe utilizar el gráfico que proporciona la compañía.



**Figura 43. Selección de la bomba a través del gráfico de la compañía**

Se observa que la bomba que se puede utilizar es, de ese mismo modelo, la de 15/1-6, la de 25/1-6 y la de 30/1-6.



**Figura 44. Imagen de la bomba seleccionada**

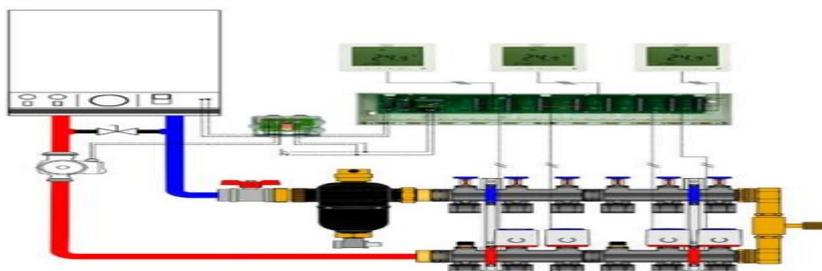
La bomba dispone de un pequeño display en el que, si es el caso, indica posibles errores de funcionamiento. Además, ella misma efectuará automáticamente un análisis del sistema de calefacción, encontrará el punto de ajuste óptimo y regulará su funcionamiento para adaptarlo a los cambios en la demanda.[29]

A continuación, se muestran los datos técnicos de la bomba:

**Tabla 55. Datos técnicos de la bomba "wilo-Stratos PICO"**

Datos técnicos	
Temperatura del líquido (°C)	2 – 110
Presión de funcionamiento (bar)	Máx. 10 bar
Potencia (W)	5 – 45
Velocidad	Variable y fija
Aplicaciones	Calefacción y ACS

La bomba se situará a la salida de la caldera impulsando el agua caliente por las tuberías hacia los colectores.



**Figura 45. Esquema de la instalación, con la bomba a la salida de la caldera y con un sistema de control**

#### **1.2.1.4 Cálculo potencia de caldera**

La caldera se diseñará para cubrir el servicio tanto de calefacción como de ACS, puesto que éste ejercerá la función de sistema auxiliar para la instalación solar térmica.

Para el cálculo de la potencia, se van a tener en cuenta los cálculos de calefacción y de ACS previamente calculados por diseño, es decir para las condiciones más extremas o desfavorables. Después se le aplicará un factor de seguridad de un 20% al valor con el mes de potencia más elevado ya que éste será el periodo de mayor demanda de energía.

$$P_{\text{Instalar}} = (P_{\text{calefacción}} + P_{\text{acs}}) \cdot 1,20 = (5434,11 W + 281,76W)$$

$$P_{\text{instalar}} = 5715,87 \cdot 1,20 = 6859,04W = \mathbf{6,859KW}$$

#### **1.2.1.5 Cálculo del volumen del silo de pellets**

Se calcula la capacidad del silo necesario de pellets para la autonomía anual de la vivienda, para ello se emplea la ecuación (35).

$$Capacidad = \frac{Energía\ necesaria}{PCI\ combustible}$$

$$Capacidad = \frac{22997,19\ KWh}{4,85\ KWh/Kg} = 4741,68\ Kg$$

Para satisfacer las necesidades anuales mediante pellets hace falta un silo con una capacidad de **4.741,68 Kg**.



## **1.2.2 Estudios**

### **1.2.2.1 Estudio de impacto y recuperación medioambiental**

Con relación a España, mantiene desde hace tiempo un notorio crecimiento del consumo de energía y de la intensidad energética. La creciente y excesiva dependencia energética exterior, cercana al 80% en los últimos años, y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Por tanto, el crecimiento sustancial de las fuentes renovables, junto a una importante mejora de la eficiencia energética, responde a motivos de estrategia económica, social y medioambiental, además de ser básico para cumplir los compromisos internacionales en materia de medioambiente.

En este apartado del proyecto se explicarán brevemente uno de los principales efectos de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, se obtendrá la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que se conseguirá al tener una instalación solar, ya que se ahorra un alto porcentaje de gasóleo en la caldera para la producción de agua caliente sanitaria y también se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en la sustitución de una caldera gasoil por otra de biomasa, debido a las emisiones de los diferentes combustibles.

Con el uso de las energías renovables es posible reducir la emisión de contaminantes, tanto los que provocan el efecto invernadero, como los que provocan la destrucción de la capa de ozono.

### 1.2.2.1.1 Efecto invernadero

El efecto invernadero consiste en la absorción, por parte de gases que se encuentran en las capas bajas de la atmósfera, de la radiación infrarroja procedente de la tierra, transformándola en calor. De toda la radiación procedente del sol, el 30% es reflejado al espacio y el 70% restante calienta la materia y ésta emite por ese calentamiento radiación infrarroja, que es la que es absorbida por los gases. De esta forma se forma una capa protectora de calor que origina temperaturas templadas en la superficie terrestre, al impedir su enfriamiento. Este fenómeno es el utilizado en los invernaderos.

Las consecuencias de un aumento del efecto invernadero no se conoce con exactitud. Sin embargo, existen estudios y datos que parecen indicar un consecuente aumento de la temperatura media de la atmósfera.

Un ejemplo claro es que la superficie nevada del planeta se ha reducido en un 10% desde finales de los sesenta, y esto empieza a ser un problema bastante preocupante. Basta con comparar de dos fotografías no muy lejanas en el tiempo para darnos cuenta del grave problema climático que está sufriendo el planeta.



*Figura 46. Efecto invernadero de CO<sub>2</sub>. (Fuente [26])*

El principal causante del efecto invernadero es el CO<sub>2</sub>, pero además también contribuyen a este efecto otra serie de contaminantes.

### **1.2.2.1.2 Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>**

El ahorro de emisiones vamos a realizarlo según las instalaciones propuestas, ya que, por un lado, la contribución de la instalación solar para ACS va a producir un ahorro en el consumo energético que afecta directamente en el consumo de combustible energético. Es decir, con esta instalación se produce un ahorro directo de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la caldera de gasoil.

Por otro lado, se expondrá las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> que surgen en la sustitución de la caldera de gasoil, puesto que, gracias a la instalación solar, la cantidad de energía demandada por la caldera disminuye al tener el aporte de la energía solar. En resumen, se realizará la comparativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> antes y después de las soluciones propuestas en la vivienda.

El gasóleo tiene una emisión de CO<sub>2</sub> de 0,27 Kg CO<sub>2</sub>/KWh según **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDEA**.

#### **1.2.2.1.2.1 Ahorro emisiones CO<sub>2</sub> de Instalación solar para ACS**

La instalación solar térmica permite el aprovechamiento de la energía del sol, es decir, toda la energía proporcionada por esta instalación no emite ninguna emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, lo que su ahorro de emisiones irá en función a la energía que suministre que en este caso es de 2427,6 KWh.

$$\text{Ahorro } CO_2 (\text{Instalación Solar}) = 2427,6 \text{ KWh} \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{KWh} = 655,45 \text{ Kg } CO_2$$

#### **1.2.2.1.2.2 Ahorro emisiones CO<sub>2</sub> de caldera de Pellets**

Las calderas de biomasa sí que emiten CO<sub>2</sub> durante la combustión, pero se considera que sus emisiones son nulas porque el CO<sub>2</sub> que producen es el mismo que absorbe la planta durante su crecimiento; por lo tanto, no se trata de un CO<sub>2</sub> que no existía antes en la atmósfera, como ocurre con otras combustiones. Es decir, se considera que las calderas de biomasa no van a producir emisiones de CO<sub>2</sub>, entonces la reducción de emisiones por la sustitución de la caldera es total.

$$\text{Ahorro } CO_2 (\text{Caldera Pellets}) = 22997,19 \text{ KWh} \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{KWh} = 6209,24 \text{ Kg } CO_2$$

### **1.2.2.1.2.3 Ahorro Climatización por Suelo radiante**

Como ya se ha explicado a lo largo del proyecto el sistema de suelo radiante es muy saludable, ahorra mucha energía y contribuye a la salud del planeta.

Aunque es un sistema que podemos llamar relativamente moderno ha sido utilizado hace miles de años ya que los Romanos ya lo utilizaban con el nombre de Glorias utilizando las aguas termales procedentes de la tierra.

Es el sistema más común de calefacción en los países del norte porque debido a sus bajas temperaturas, necesitan utilizar muchas horas la calefacción y consumir poca energía.

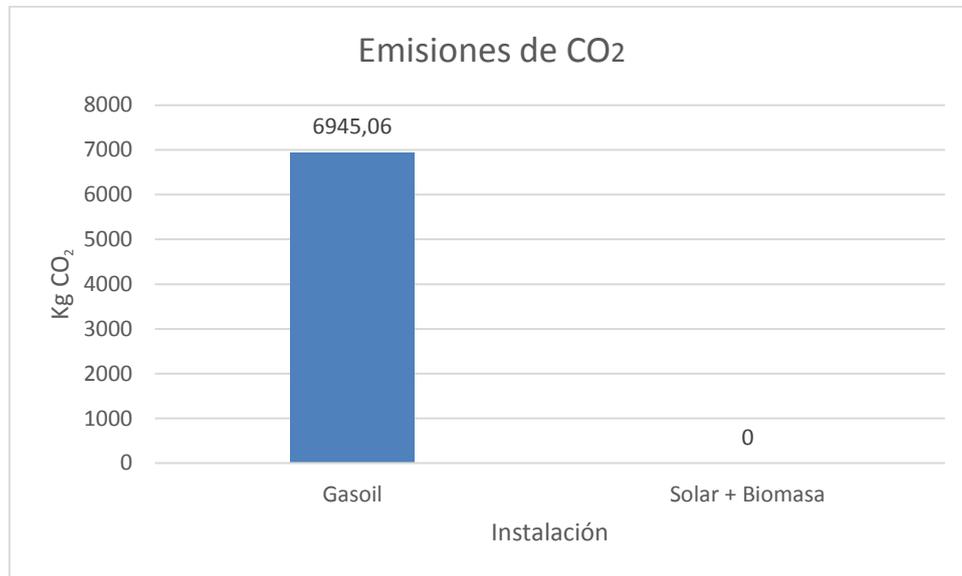
En España hoy en día el 85% de las nuevas construcciones que se realizan tienen este sistema de distribución de calefacción, en mayor medida las viviendas unifamiliares.

En los sistemas utilizados hasta ahora el agua se calentaba hasta unas temperaturas de 60-70 °C, sin embargo, con este sistema solo llegan a 40-45°C, teniendo un ahorro de energía y por tanto económico importante.

Además, es posible utilizarlo como climatizador en verano, ya que el agua que circula por los tubos es agua a 15°C que absorbe el calor de la estancia haciéndola más agradable.

#### 1.2.2.1.2.4 Resumen de emisiones de CO<sub>2</sub>

**Tabla 9. Emisiones de CO<sub>2</sub>**



Como se puede apreciar en la tabla 48, con la utilización del sistema solar y la sustitución de la caldera de gasoil por una de biomasa, las emisiones de CO<sub>2</sub> enviadas a la atmósfera se consideran nulas, es decir, evitamos un ingreso anual de casi 7.000 Kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### **1.2.2.2 Estudio de viabilidad técnica o económica**

Un proyecto de ingeniería surge para satisfacer una necesidad. En este sentido el proyecto descrito en este documento cumple esta máxima en tres apartados fundamentales:

- Lograr una autosuficiencia de los usuarios al evitar la dependencia de fuentes energéticas convencionales.
- Contribuir de manera notable a frenar los efectos derivados de la emisión de gases de efecto invernadero.
- Alcanzar un beneficio económico mediante el aprovechamiento de dos fuentes de energía renovables, la solar que llega directa y gratuitamente al emplazamiento, y la biomasa que reemplaza a la actual caldera de gasoil.

Este último aspecto es una de las partes más importantes, y en la que piensa la mayoría de las personas a la hora de plantear la instalación de paneles solares en sus viviendas y proceder al empleo de una caldera de biomasa

Por este motivo, una vez calculados los parámetros de la instalación y dimensionados los equipos que forman parte de la misma, se procede a realizar un estudio económico para determinar si la instalación diseñada es competitiva desde el punto de vista económico.

#### **1.2.2.2.1 Viabilidad económica**

Determinar si la instalación es viable desde el punto de vista económico consiste en determinar si es posible recuperar la inversión inicial antes de que finalice la vida útil de la instalación.

Dicha viabilidad depende de una serie de parámetros o variables que se explican a continuación:

- **Ahorro de energía demandada:**

La cantidad de energía que la instalación demanda y que es atendida con aporte solar reduce la cantidad de energía a producir por la caldera auxiliar encargada de atender las necesidades de la vivienda.

**Tabla 57. Consumo de la vivienda, aporte de ACS de instalación solar y diferencia**

Mes	Q Tot. Edificio(Kwh)	Qacs(KWh) Aprovechada	Q Tot. Edificio(KWh) Nueva
ENE	3439,390278	83,00486111	3356,385417
FEB	2966,96	102,5595	2864,4005
MAR	3151,360833	145,9515833	3005,40925
ABR	2774,8675	145,06825	2629,79925
MAY	2261,290833	164,9421111	2096,348722
JUN	175,5627778	161,7117222	13,85105556
JUL	177,3805556	179,6543056	-2,27375
AGO	181,4119444	173,7438056	7,668138889
SEP	179,4613889	164,8419167	14,61947222
OCT	1813,791944	149,2974167	1664,494528
NOV	2637,015	100,2135278	2536,801472
DIC	3238,702778	80,60277778	3158,1
<b>ANUAL</b>	<b>22997,19583</b>	<b>1651,591667</b>	<b>21345,60417</b>

Por lo tanto, con la energía solar térmica tenemos un ahorro energético de 1651,59 KWh.

- **Precio de combustible**

Este es un factor determinante, ya que la sustitución de una caldera de gasoil por una de biomasa afecta directamente en el ahorro económico producido por las diferencias de precios en el mercado de los combustibles.

También, influirá directamente el incremento anual que recibe los combustibles, ya que la biomasa aparte de ser un combustible más barato, sus incrementos anuales son menores que los de gasoil.

- **Rendimiento de la caldera:**

El rendimiento de cada caldera influirá directamente en el ahorro del combustible consumido para satisfacer las necesidades de la vivienda, por lo tanto, se tendrán en cuenta el rendimiento de la caldera de gasoil y la caldera nueva de biomasa instalada.

**Tabla 58. Precio, Incremento anual y Rendimiento de la caldera de Gasoil y Pellets**

	Precio €/KWh	Incremento combustible anual	Rendimiento de Caldera
Gasoil C	0,085	8%	87%
Pellets	0,0451	2%	94%

- **Mantenimiento de la instalación**

Tanto en la a instalación solar como en la instalación de la caldera de biomasa tiene asociados unos costes de mantenimiento porque es necesario realizar anualmente labores de mantenimiento según lo establecido en el Plan de vigilancia y en el plan de mantenimiento preventivo.

Además, hay que añadir que a medida que pasa el tiempo aumenta la probabilidad de que el deterioro de algún componente requiera cierto tipo de mantenimiento correctivo con objeto de mantener el rendimiento de la instalación.

Se estima un coste de mantenimiento de 50€ para la actual caldera de gasoil, y de 100 € para las nuevas instalaciones propuestas.

- **Inversión inicial:**

Es el valor de la inversión inicial. Se obtiene puede ver reflejado en el presupuesto y seguramente sea el hándicap más importante a la hora de estudiar la viabilidad de las instalaciones propuestas en la vivienda.

La inversión inicial coincide con el presupuesto del proyecto, es decir, el coste del proyecto que se va a llevar a cabo, es este caso es de **26.610,47 €**.

- **Tasa de interés**

El interés bancario es la ganancia que obtiene el banco por prestar capital. En sentido estricto, es el precio de utilización del dinero por unidad de tiempo. La tasa de interés (el tanto por ciento) se rige por la ley de la oferta y la demanda.

No obstante, la tasa de interés puede estimarse a partir del Euribor, tipo de interés promedio al que las entidades financieras se prestan dinero en el mercado interbancario del euro, y cuyo valor es muy utilizado como referencia para los préstamos bancarios.

### 1.2.2.2 Tiempo de amortización

A continuación, se resume en una tabla todos los valores descritos anteriormente, comparando los costes que se producen anualmente.

Por un lado, la caldera de gasoil que tiene actualmente la vivienda, y por otro lado, la vivienda renovada, es decir, con la instalación solar térmica propuesta y la sustitución de la caldera.

**Tabla 59. Tiempo de amortización**

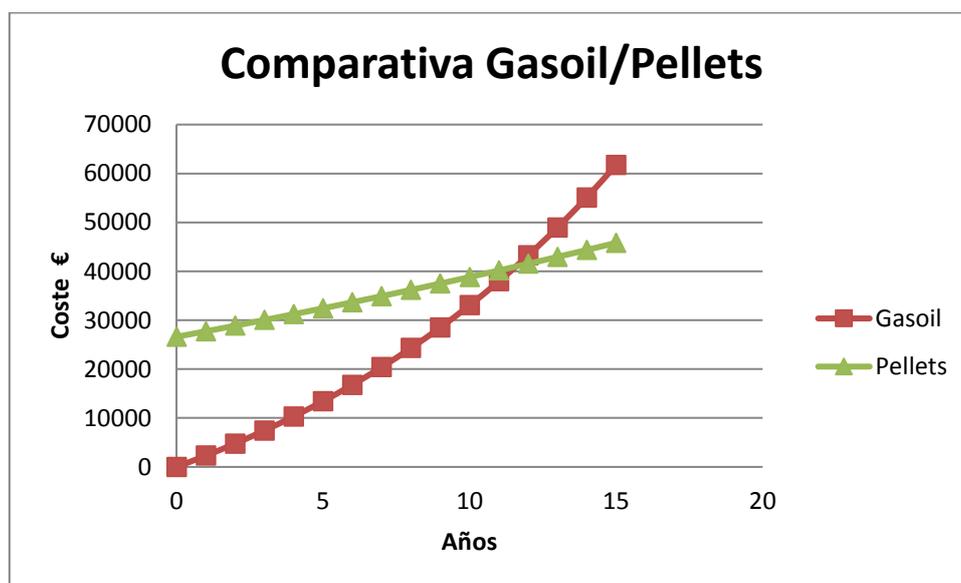
Año	Gasoil C			Pellets			Beneficio
	Consumo	Mantenimiento	Coste total	Consumo	Mantenimiento	Coste total	
0	0	0	0	0	0	26610,47	<b>-26610,47</b>
1	2246,85247	50	2296,852466	1024,13484	100	27734,6048	<b>25437,7524</b>
2	2426,60066	50	4773,45313	1044,61753	100	28879,2224	<b>24105,7692</b>
3	2620,72872	50	7444,181847	1065,50989	100	30044,7323	<b>22600,5504</b>
4	2830,38701	50	10324,56886	1086,82008	100	31231,5523	<b>20906,9835</b>
5	3056,81798	50	13431,38684	1108,55649	100	32440,1088	<b>-19008,722</b>
6	3301,36341	50	16782,75025	1130,72761	100	33670,8364	<b>16888,0862</b>
7	3565,47249	50	20398,22274	1153,34217	100	34924,1786	<b>14525,9559</b>
8	3850,71029	50	24298,93302	1176,40901	100	36200,5876	<b>11901,6546</b>
9	4158,76711	50	28507,70013	1199,93719	100	37500,5248	<b>8992,82468</b>
10	4491,46848	50	33049,16861	1223,93593	100	38824,4607	<b>5775,29214</b>
11	4850,78596	50	37949,95456	1248,41465	100	40172,8754	<b>2222,92084</b>
12	5238,84883	50	43238,80339	1273,38295	100	41546,2583	<b>1692,54505</b>
13	5657,95674	50	48946,76013	1298,85061	100	42945,1089	<b>6001,65118</b>
14	6110,59328	50	55107,35341	1324,82762	100	44369,9366	<b>10737,4168</b>
15	6599,44074	50	61756,79415	1351,32417	100	45821,2607	<b>15935,5334</b>

Como se puede observar en la tabla la inversión inicial de la caldera junto con la instalación solar es relativamente grande ya que hay que contar con una instalación nueva. No obstante, se observa que en 11 años, ya se ha amortizado el coste de nuestras instalaciones.

Esto está fuertemente respaldado por el precio de los combustibles junto al incremento que estos sufren con el paso de los años. Mientras que el incremento de los pellets es del 2% anual, el gasóleo se dispara con un incremento del 8% anual.

A continuación, se ha realizado la tabla 60 en la que se refleja la comparativa de los costes anuales, antes y después del proyecto.

**Tabla 60. Comparativa Gasoil/Pellets**



Este proyecto está autorizado por:

Jagoba Molina Aira

Enero 2018