

Estudio tecnico-económico para la integración de energías renovables en una vivienda unifamiliar



**Universidad**  
Zaragoza

# **ESTUDIO TECNICO-ECONÓMICO PARA LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Proyecto realizado por Chema Guerrero Roy  
Dirigido por Antonia Gil Martínez  
I.T.I. QUÍMICA  
Septiembre de 2011  
Curso 2010-2011

## ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 OBJETO DEL PROYECTO.....	5
3 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.....	7
3.1 EMPLAZAMIENTO.....	7
3.2 DESCRIPCIÓN.....	9
3.3 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA VIVIENDA.....	11
3.3.1 EXPLICACIÓN DE LOS CÁLCULOS.....	11
3.3.2 TRANSMITANCIAS TÉRMICAS.....	16
3.3.3 TEMPERATURAS DE ESPACIOS NO HABITABLES.....	24
3.3.4 PÉRDIDAS DE CALOR POR TRANSMISIÓN.....	26
3.3.5 DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS.....	31
4 INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS.....	32
4.1 DESCRIPCIÓN.....	32
4.2 DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN.....	33
4.3 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN.....	42
4.4 COMPONENTES.....	44
4.4.1 ACUMULADOR.....	44
4.4.2 CAPTADOR SOLAR.....	45
4.4.3 OTROS ELEMENTOS.....	46
5 INSTALACIÓN DE CALDERA DE BIOMASA.....	47
5.1 DESCRIPCIÓN.....	47
5.2 CÁLCULOS.....	49
5.3 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN.....	50
5.4 COMPONENTES.....	52
5.4.1 CUBREPLACA.....	52
5.4.2 PLACA RADIANTE.....	52
5.4.3 HORNO DE TERRACOTA.....	52
5.4.4 SISTEMA ONDULING.....	52
5.4.5 HOGAR.....	52
5.4.6 CAJÓN DE CENIZAS.....	53
5.4.7 VÁLVULA DE HUMOS MANUAL.....	53
5.4.8 INTERCAMBIADOR DE ENFRIAMIENTO.....	53
5.4.9 CONJUNTO HIDRÁULICO.....	53
5.4.10 AISLAMIENTO.....	54
5.4.11 INTERCAMBIADOR DE PLACAS.....	54
5.4.12 PANEL DE MANDOS.....	55
5.4.13 ANTICONDENSACIÓN.....	55
5.4.14 CALDOCONTROL.....	55
6 ESTUDIO ECONÓMICO.....	56
6.1 INSTALACIÓN PARA ACS.....	56
6.1.1 COSTES.....	56
6.1.2 AHORROS.....	57
6.2 CALDERA DE BIOMASA.....	58
6.2.1 COSTES.....	58
6.2.2 AHORROS.....	60
7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61

8 CONCLUSIONES.....	67
9 ANEXOS.....	69
9.1 NOTACIONES Y UNIDADES.....	69
9.2 TABLAS.....	73
9.3 FIGURAS.....	76
9.4 BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA.....	77
9.5 DOCUMENTACIÓN DEL DOMUSA DS-compact Inox 1.150 P.....	79
9.5.1 CERTIFICACIÓN.....	79
9.5.2 INSTRUCCIONES DE MONTAJE.....	87
9.5.3 INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.....	100
9.5.4 GARANTÍA.....	101
9.6 DOCUMENTACIÓN DE CALDEA BASE JOLLY-MEC.....	102
9.6.1 INSTRUCCIONES DE MONTAJE.....	102
9.6.2 INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	124
9.6.3 INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.....	142
9.7 PLANOS.....	155
9.7.1 SITUACIÓN.....	155
9.7.2 EMPLAZAMIENTO.....	157
9.7.3 PLANTA DE LA VIVIENDA.....	159
9.7.4 ALZADOS DE LA VIVIENDA.....	161

## 1 INTRODUCCIÓN

Ante la actual situación mundial en la que los combustibles fósiles se agotan o la dificultad de su explotación incrementa su precio desorbitadamente y el efecto invernadero que su utilización está provocando, se impone la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía. La solución está ante nuestros ojos: las energías renovables.

Desde los particulares hasta los organismos supranacionales se están preocupando por el tema y la concienciación ha calado en todos los estratos de la sociedad.

Los particulares buscando la opción que se adapte a sus circunstancias socio-económicas de aproximación a las energías renovables: eólica y fotovoltaica para viviendas aisladas de la red, solar térmica y biomasa para las conectadas a la red eléctrica para consumo propio y la fotovoltaica conectada a la red como inversión.

Las empresas con sistemas de mejora de rendimientos como la cogeneración o alquilando sus cubiertas para colocar paneles fotovoltaicos.

Los gobiernos promoviendo nuevos escenarios energéticos con políticas de ayuda y apoyo, como las plasmadas en el agotado “Plan de Energías Renovables 2005-2010” que va a tener su continuación en el “Plan de Energías Renovables 2011-2020” cuyo borrador está en plazo de información pública y consultas hasta el día 19 del presente mes o el “Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020”.

Dentro de este contexto se plantea este proyecto en el que un usuario particular se interesa por la posibilidad de sustituir, en todo o en parte, su consumo de energía procedente de combustibles fósiles por renovables.

## 2 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es el cálculo de distintas opciones para la integración de energías renovables en una vivienda unifamiliar, actualmente equipada con un sistema de calefacción con caldera de gasoil, su valoración económica y el estudio detallado de cual de las opciones es más conveniente.

Las opciones que se han tenido en cuenta en el proyecto han sido dos, la instalación de un sistema de energía solar térmica y la sustitución de la caldera de gasoil por una de biomasa.

Para la instalación de energía solar térmica se han estudiado dos alternativas, un sistema sencillo termosifónico que suministre ACS y otro con más superficie de captadores, más volumen de acumulación y que, no solo suministre ACS, sino que de apoyo a la calefacción. Al realizar el estudio de la producción de ACS con estos captadores se llegó al resultado de que en verano con más de uno se producirán problemas de sobrecalentamiento por superar la energía captada el 100% de la demanda en varios meses consecutivos (de abril a septiembre). Este hecho está prohibido por el “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura” de 2009 del IDAE. Por lo tanto la alternativa de ACS más calefacción se descartó.

Se han realizado dos estudios:

- Instalación de captadores térmicos para ACS.
- Sustitución de la caldera de gasoil por una de biomasa.

Antes de entrar en el estudio técnico se realiza una descripción de la vivienda, su ubicación y los cálculos de las necesidades energéticas.

La herramienta básica que se ha utilizado es el Código Técnico de

Edificación y más concretamente el Documento Básico HE de Ahorro de Energía y, por referencia, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Para cada una de las dos opciones se sigue el mismo esquema de trabajo, en primer lugar se realiza la descripción, a continuación se dibuja el esquema de la instalación y por último se enumeran los componentes necesarios.

Posteriormente se hace el estudio económico de cada una de las dos alternativas, viendo en primer lugar los costes y después los ingresos, considerando como tales el ahorro de los gastos que con esa instalación ya no habrá que realizar.

Por último se analizan los resultados y se exponen las conclusiones que permitirán al cliente tomar una decisión teniendo en cuenta los pros y los contras de cada alternativa.

## 3 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

### 3.1 *EMPLAZAMIENTO*

La vivienda está ubicada en la provincia de Huesca, en la localidad de San Jorge, término municipal de Almudévar, en la calle Miguel de Cervantes número 4.

Según su emplazamiento y la tabla 1 del Apéndice D de la Sección HE 1 Limitación de demanda energética del Documento Básico HE Ahorro de Energía, se encuentra en la zona D2.

Tabla 1. Zonas climáticas (Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE)

<b>Capital de provincia</b>	<b>Capital</b>	<b>Altura de referencia</b>
Albacete	D3	677
Alicante	B4	7
Almería	A4	0
Ávila	E1	1054
Badajoz	C4	168
Barcelona	C2	1
Bilbao	C1	214
Burgos	E1	861
Cáceres	C4	385
Cádiz	A3	0
Castellón de la Plana	B3	18
Ceuta	B3	0
Ciudad Real	D3	630
Córdoba	B4	113
Coruña (a)	C1	0
Cuenca	D2	975
Donostia-San Sebastián	C1	5
Girona	C2	143
Granada	C3	754

Estudio tecnico-económico para la integración de energías renovables en una vivienda unifamiliar

Guadalajara	D3	708
Huelva	B4	50
Huesca	D2	432
Jaén	C4	436
León	E1	346
Lleida	D3	131
Logroño	D2	379
Lugo	D1	412
Madrid	D3	589
Málaga	A3	0
Melilla	A3	130
Murcia	B3	25
Ourense	C2	327
Oviedo	C1	214
Palencia	D1	722
Palma de Mallorca	B3	1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114
Pamplona	D1	456
Pontevedra	C1	77
Salamanca	D2	770
Santa Cruz de Tenerife	A3	0
Santander	C1	1
Segovia	D2	1013
Sevilla	B4	9
Soria	E1	984
Tarragona	B3	1
Teruel	D2	995
Toledo	C4	445
Valencia	B3	8
Valladolid	D2	704
Vitoria-Gasteiz	D1	512
Zamora	D2	617
Zaragoza	D3	207

### **3.2 DESCRIPCIÓN**

Se trata de una vivienda unifamiliar constituida por dos edificios anexos, la vivienda propiamente dicha y un edificio, anteriormente de usos agrícolas y ganaderos, en el que se ubica el garaje.

El edificio de vivienda consta de una sola planta de 99,47 m<sup>2</sup> distribuidos de la siguiente forma:

- Salón de 25,38 m<sup>2</sup>
- Dormitorio 1 con vestidor de 16,38 m<sup>2</sup>
- Dormitorio 2 de 11,87 m<sup>2</sup>
- Cuarto de juegos de 13,29 m<sup>2</sup>
- Cuarto de baño de 4,18 m<sup>2</sup>
- Comedor de 11,69 m<sup>2</sup>
- Cocina de 9,09 m<sup>2</sup>
- Pasillo de 5,69 m<sup>2</sup>

Tiene anexo un local actualmente utilizado como cuarto de servicios en el que se encuentran la actual caldera de gasoil que suministra ACS y calefacción y el depósito de agua. Este cuarto tiene 11,17 m<sup>2</sup>

El cerramiento de las fachadas perimetrales está formado por:

- Un enfoscado de mortero de cemento de 15 mm de espesor.
- Un bloque de hormigón convencional de 200 mm de espesor.
- Un embarrado de mortero de cemento de 20 mm de espesor.
- Un bloque de hormigón convencional de 200 mm de espesor.
- Un enlucido de yeso de 15 mm de espesor.

Las ventanas son de madera de roble y vidrio doble normal 4-9-4.

Las puertas de acceso desde la calle y desde el garaje son de roble macizo de 60 mm de espesor.

La cubierta de los espacios habitables es de placas de yeso laminado y la de los espacios no habitables está compuesta por una plancha de hormigón armado de 100 mm de espesor, ladrillo hueco de 60 mm y teja árabe de arcilla cocida.

El suelo está formado por:

- Un laminado de resistencia térmica  $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$  (dato del fabricante).
- Un soporte de poliestireno expandido de 3 mm de espesor con una conductividad térmica, según su fabricante, de  $0,04 \text{ W/mK}$ .
- Una baldosa de gres de 7 mm.
- Una capa de mortero-cola (30 mm de espesor).
- Una losa de hormigón armado de 300 mm de espesor.

### **3.3 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA VIVIENDA**

#### **3.3.1 EXPLICACIÓN DE LOS CÁLCULOS**

Las necesidades energéticas de la vivienda para los objetivos de este proyecto vienen dadas por las pérdidas de calor por transmisión y por la necesidad de calentar el agua de suministro.

Para el cálculo de las pérdidas de calor por transmisión se determinan en primer lugar las transmitancias térmicas de los diferentes elementos de la envolvente del edificio. En un segundo lugar, se calculan las temperaturas de los espacios no habitables y por último se realiza el cálculo de las pérdidas de calor.

Para determinar la transmitancia térmica de los diferentes elementos de la envolvente se seguirán las pautas establecidas en el Apéndice E del Documento Básico HE Ahorro de Energía del CTE.

En este documento se determina la transmitancia térmica  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) según la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{RT} \quad (1)$$

siendo  $R_T$  la resistencia térmica total del componente constructivo ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ).

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

siendo  $R_1, R_2, \dots, R_n$  las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión (3) ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );  $R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales

correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 2 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ).

Tabla 2. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $\text{m}^2\text{K / W}$  (Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE)

Posición del cerramiento y sentido del flujo del calor	$\mathbf{R}_{se}$	$\mathbf{R}_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,04	0,1
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = e / \lambda \quad (3)$$

siendo  $e$  el espesor de la capa en metros y  $\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos. En el caso de este proyecto se tomarán los valores de las Bases de Datos del LIDER, ya que el Documento Básico HE, en su artículo 3.3.2.3. dice que el programa LIDER tiene la consideración de Documento Reconocido del CTE.

La transmitancia térmica del suelo se obtiene de la tabla 3 en función de la banda de aislamiento perimetral, de la resistencia térmica del aislante  $R_a$  calculada mediante la expresión (3) y la longitud característica  $B'$  de la solera. Los valores intermedios se obtienen por interpolación lineal.

Se define la longitud característica  $B'$  como el cociente entre la superficie del

suelo y la longitud de su semiperímetro, según la expresión:

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2} \cdot P} \quad (4)$$

siendo P la longitud del perímetro de la solera en metros y A el área de la solera en metros cuadrados.

Para soleras sin aislamiento térmico, la transmitancia térmica se tomará de la columna  $R_a = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$  en función de su longitud característica  $B'$ .

Tabla 3. Transmitancia térmica  $U_s$  (Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE)

	R <sub>a</sub>	D = 0,5 m						D = 1,0 m						D ≥ 1,5 m							
		R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)						R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)						R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)							
B'	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,5	0,47	0,44					
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,5	0,45	0,43	0,41					
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37					
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35					
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33					
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,4	0,36	0,34	0,32	0,31					
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,3	0,28	0,27					
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25					
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23					
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21					
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,2	0,20					

Para el cálculo de la transmitancia térmica en la envolvente de los espacios habitables en contacto con espacios no habitables se utilizará la expresión (1), pero tomando las resistencias térmicas superficiales de la tabla 4.

Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en  $\text{m}^2\text{K/W}$  (Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE)

Posición de la partición interior y sentido del flujo del calor	$\mathbf{R}_{se}$	$\mathbf{R}_{si}$
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,1	0,1
Particiones interiores horizontales y flujo descendente	0,17	0,17

La transmitancia térmica en huecos se determinará mediante la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) U_{H,v} + FM U_{H,m} \quad (5)$$

siendo  $U_{H,v}$  la transmitancia térmica de la parte semitransparente,  $U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco de la ventana o puerta, ambas en  $\text{W/m}^2\text{K}$ , y  $FM$  la fracción del hueco ocupada por el marco calculada según la expresión:

$$FM = A_m / A_H \quad (6)$$

siendo  $A_m$  el área del marco y  $A_H$  el área total del hueco.

Para el cálculo de las temperaturas de los espacios no habitables se utilizará la siguiente expresión:

$$t_{nh} = \frac{(\sum (U_i S_i t_i) + \sum (U_e S_e t_e))}{\sum (U_i S_i) + \sum (U_e S_e)} \quad (7)$$

donde  $U_i$  es la transmitancia térmica de las envolventes en contacto con el interior,  $S_i$  son las áreas superficiales de las antedichas envolventes,  $t_i$  es la temperatura de los espacios habitables,  $U_e$  son las transmitancias térmicas de las envolventes en contacto con el exterior,  $S_e$  son las áreas superficiales de las antedichas envolventes y  $t_e$  son las temperaturas exteriores.

Esta expresión se obtiene realizando un balance de energía a los espacios

no habitables en el que igualamos el calor que se transmite desde los espacios no habitables al exterior:

$$Q = \Sigma [U_e S_e (t_{nh} - t_e)] \quad (8)$$

al calor que se transmite a los espacios no habitables desde los habitables:

$$Q = \Sigma [U_i S_i (t_i - t_{nh})] \quad (9)$$

Para calcular las pérdidas de calor por transmisión en cada uno de los elementos de la envolvente se utilizará la expresión genérica:

$$Q = \Sigma [U S (t_i - t_e)] \quad (10)$$

donde  $U$  son las transmitancias térmicas,  $S$  son las áreas superficiales correspondientes,  $t_i$  es la temperatura en el interior de los espacios habitables y  $t_e$  son las temperaturas exteriores.

Para calcular la demanda energética para la producción de agua caliente sanitaria se utilizará la expresión:

$$E (J) = m (kg) C_e (4180 J/kg°C) (60°C - T_i) \quad (11)$$

donde  $E$  es la energía,  $m$  es la masa de agua que hay que calentar,  $C_e$  es el calor específico del agua,  $60°C$  es la temperatura de referencia a la que hay que calentar el agua, según el Documento Básico HE sección 4 del CTE, y  $T_i$  es la temperatura de suministro del agua de red.

### 3.3.2 TRANSMITANCIAS TÉRMICAS

#### 3.3.2.1 PARAMENTOS VERTICALES

Para el cálculo de la transmitancia de la fachada se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 2:

Tabla 5. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman la fachada

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $m^2K/W$ )
Enfoscado de mortero de cemento	0,015	1,000	0,015
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Embarrado de mortero de cemento	0,020	1,000	0,020
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026
R <sub>se</sub>			0,040
R <sub>si</sub>			0,130

La resistencia total de la fachada es:

$$0,738 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ por lo tanto } U_M = 1,354 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Para el cálculo de la transmitancia de los tabiques interiores se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 4:

Tabla 6. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman los tabiques interiores

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $m^2K/W$ )
Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026
Tabique de LH sencillo	0,047	0,444	0,106
Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026
R <sub>se</sub>			0,130
R <sub>si</sub>			0,130

La resistencia total del tabique interior es:

$$0,418 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ por lo tanto } U_P = 2,390 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Para el cálculo de la transmitancia del muro común del garaje con la vivienda se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 2:

Tabla 7. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman el muro común de la vivienda con el garaje

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Enfoscado de mortero de cemento	0,015	1,000	0,015
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Embarrado de mortero de cemento	0,020	1,000	0,020
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Enlucido de yeso	0,015	0,570	0,026
$R_{se}$			0,130
$R_{si}$			0,130

La resistencia total del muro interior es:

$$1,082 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ por lo tanto } U_P = 0,924 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Para el cálculo de la transmitancia del muro perimetral del garaje se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 2:

Tabla 8. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman el muro perimetral del garaje

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $m^2K/W$ )
Bloque de hormigón convencional	0,200	0,789	0,253
Rse			0,040
Rsi			0,130

La resistencia total del muro es:

$$0,423 \text{ } m^2K/W \text{ por lo tanto } U_M = 2,361 \text{ } W/m^2K.$$

### 3.3.2.2 PUERTAS Y VENTANAS

Para el cálculo de la transmitancia de las ventanas se utilizarán las expresiones (6) y (5):

Sus dimensiones son 1,53 x 1,40 m que supone 2,14 m<sup>2</sup>.

El vidrio mide 0,52 x 0,87 m, que supone 0,45 m<sup>2</sup> que por dos vidrios son 0,90 m<sup>2</sup>, lo que significa que el marco representa 1,24 m<sup>2</sup>.

La fracción de hueco ocupada por el marco FM es 1,24/2,14 = 0,58.

Las ventanas son de madera de roble (densidad media alta) y vidrio doble de 4 mm con una cámara de 9 mm.

La transmitancia térmica de las ventanas es:

$$U_H = (1 - FM) U_{H,v} + FM U_{H,m}$$

$$U_H = (1 - 0,58) * 3,00 + 0,58 * 2,20 = 2,54 \text{ } W/m^2K.$$

Para el cálculo de la transmitancia de la puerta principal se utilizarán las expresiones (3) y (1):

Es de roble macizo de peso medio. Sus dimensiones son 1,10 x 2,20 m, que

supone 2,42 m<sup>2</sup>. Tiene un espesor de 60 mm.

La resistencia de la puerta es:

$$R = e / \lambda = 0,06 / 0,180 = 0,33 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y por lo tanto  $U_H = 1 / R = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para el cálculo de la transmitancia de la puerta de acceso al garaje se utilizarán las expresiones (3) y (1):

Es de roble macizo de peso medio. Sus dimensiones son 0,91 x 2,10 m, que supone 1,91 m<sup>2</sup>. Tiene un espesor de 60 mm.

La resistencia de la puerta es:

$$R = e / \lambda = 0,06 / 0,180 = 0,33 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y por lo tanto  $U_H = 1 / R = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para el cálculo de la transmitancia de la puerta del jardín se utilizarán las expresiones (6) y (5):

Su composición es como la de las ventanas y sus dimensiones son 1,83 m x 2,20 m, que supone 4,03 m<sup>2</sup>.

El vidrio mide 0,88 x 1,67 m, que supone 1,47 m<sup>2</sup>, que por dos vidrios son 2,94 m<sup>2</sup>, lo cual significa que el marco representa 1,09 m<sup>2</sup>.

La fracción de hueco ocupada por el marco FM es  $1,09/4,03 = 0,27$ .

La transmitancia térmica de la puerta es:

$$U_H = (1 - FM) U_{H,v} + FM U_{H,m}$$

$$U_H = (1 - 0,27) * 3,00 + 0,27 * 2,20 = 2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para el cálculo de la transmitancia de la puerta del garaje se utilizarán las expresiones (3) y (1):

Es de chapa de hierro con estructura del mismo metal. Sus dimensiones son 3,07 x 3,00 m, que supone 9,21 m<sup>2</sup>. Tiene un espesor de 4 mm.

La resistencia de la puerta es:

$$R = e / \lambda = 0,004 / 72 = 0,00006 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y por lo tanto  $U_H = 1 / R = 18000 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.3.2.3 SOLERAS

Para el cálculo de la transmitancia de la solera se utilizarán la expresión (7) y los valores de la tabla 3 interpolados linealmente:

Sobre la solera original se colocó un pavimento cerámico y sobre este, en la última reforma, un laminado con una capa de aislante de polietileno de 3 mm. Según información proporcionada por el instalador, la resistencia térmica del conjunto es:

$$R \text{ laminado} + PE = 0,08 + 0,04 = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

El área total de la solera es:

$$A = (7,17 \times 10,92) + (3,71 \times 5,73) = 99,55 \text{ m}^2$$

El perímetro de la solera es:

$$P = (7,17 + 16,65) \times 2 = 47,64 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud característica es:

$$B' = A/(P/2) = 99,55/23,82 = 4,18 \text{ m}$$

La transmitancia térmica de la solera es (considerando que no hay aislante por su pequeña resistencia térmica):

$$\begin{aligned} U_s &= U_1 + [(B' - 1) \times (U_5 - U_1) / (5 - 1)] = \\ &= 2,35 + [3,18 \times (0,85 - 2,35) / 4] = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}. \end{aligned}$$

Para el cálculo de la transmitancia de la solera del garaje se utilizarán la expresión (4) y los valores de la tabla 3 interpolados linealmente:

Consiste en una solera de hormigón armado de 500 mm de espesor.

$$R = 0,50/2,300 = 0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$$

El área total de la solera es:

$$A = 4,15 \times 11,42 = 47,39 \text{ m}^2$$

El perímetro de la solera es:

$$P = (4,15 + 11,42) \times 2 = 31,14 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud característica es:

$$B' = A/(P/2) = 47,39/15,57 = 3,04 \text{ m}$$

La transmitancia térmica de la solera es (considerando que no hay aislante por su pequeña resistencia térmica):

$$\begin{aligned} U_s &= U_1 + [(B' - 1) \times (U_5 - U_1) / (5 - 1)] = \\ &= 2,35 + [2,04 \times (0,85 - 2,35) / 4] = 1,59 \text{ W/m}^2\text{K}. \end{aligned}$$

### **3.3.2.4 CUBIERTAS**

Para el cálculo de la transmitancia del falso techo se utilizarán las expresiones (3) y (1):

Está realizado con placas de yeso laminado de 30 mm de espesor.

La conductividad es:

$$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$$

La resistencia es:

$$R = e / \lambda = 0,03 / 0,250 = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y por lo tanto  $U_P = 1 / R = 8,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para el cálculo de la transmitancia de la cubierta se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 2:

Tabla 9. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman la cubierta

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Plancha de hormigón armado	0,100	2,300	0,043
Ladrillo hueco sencillo	0,060	0,444	0,135
Teja árabe	0,015	1,000	0,015
Rse			0,040
Rsi			0,100

La resistencia total de la cubierta es:

$$0,334 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ por lo tanto } U_C = 2,997 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Para el cálculo de la transmitancia de la cubierta del garaje se utilizarán las expresiones (3), (2) y (1) y los valores de la tabla 2:

Tabla 10. Cálculo de la resistencia de las distintas capas que conforman la cubierta del garaje

Capa	espesor (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R=e/\lambda$ ( $m^2K/W$ )
Plancha de hormigón armado	0,300	2,300	0,130
Embarrado de mortero-cola	0,010	0,800	0,015
Baldosa cerámica	0,010	1,000	0,010
R <sub>se</sub>			0,040
R <sub>si</sub>			0,100

La resistencia total de la cubierta es:

$$0,293 \text{ } m^2K/W \text{ por lo tanto } U_c = 3,414 \text{ } W/m^2K.$$

### 3.3.3 TEMPERATURAS DE ESPACIOS NO HABITABLES

Para el cálculo de las pérdidas de calor por transmisión necesitamos saber la temperatura que tenemos a cada lado de la envolvente del edificio.

En el interior se fija una temperatura de confort de 20°C.

En el exterior se toma la temperatura media de cada mes obtenidas de la Agencia Estatal de Meteorología.

Con estos datos se han elaborado las tablas siguientes:

Tabla 11. Flujos de calor en el garaje

GARAJE				
Cerramiento	Superficie	Transmitancia	$U_i \times S_i$	$U_e \times S_e$
Puerta exterior	9,21 m <sup>2</sup>	18000 W/m <sup>2</sup> K		165780 W/K
Puerta vivienda	1,91 m <sup>2</sup>	3 W/m <sup>2</sup> K	5,730 W/K	
Muro exterior	49,95 m <sup>2</sup>	2,361 W/m <sup>2</sup> K		117,950 W/K
Muro vivienda	32,35 m <sup>2</sup>	0,924 W/m <sup>2</sup> K	29,905 W/K	
Suelo	47,39 m <sup>2</sup>	1,59 W/m <sup>2</sup> K		75,350 W/K
Cubierta	47,39 m <sup>2</sup>	3,414 W/m <sup>2</sup> K		161,777 W/K
		SUMAS:	35,635 W/K	166135,077 W/K

Tabla 12. Flujos de calor en la cubierta

CUBIERTA				
Cerramiento	Superficie	Transmitancia	$U_i \times S_i$	$U_e \times S_e$
Falso techo	99,55 m <sup>2</sup>	8,33 W/m <sup>2</sup> K	829,252 W/K	
Cubierta	114,73 m <sup>2</sup>	2,997 W/m <sup>2</sup> K		343,901 W/K
Muro exterior	4,51 m <sup>2</sup>	1,354 W/m <sup>2</sup> K		6,109 W/K
		SUMAS:	829,252 W/K	350,010 W/K

Tabla 13. Flujos de calor en el cuarto de servicios

CUARTO DE SERVICIOS				
Cerramiento	Superficie	Transmitancia	$U_i \times S_i$	$U_e \times S_e$
Falso techo	11,20 m <sup>2</sup>	8,33 W/m <sup>2</sup> K	93,296 W/K	
Muro exterior	27,36 m <sup>2</sup>	1,354 W/m <sup>2</sup> K		37,059 W/K
Suelo	11,20 m <sup>2</sup>	1,16 W/m <sup>2</sup> K		12,9928 W/K
Puerta	1,89 m <sup>2</sup>	3 W/m <sup>2</sup> K		5,670 W/K
Tabique vivienda	11,13 m <sup>2</sup>	2,390 W/m <sup>2</sup> K	26,596 W/K	
		SUMAS:	119,892 W/K	60,606 W/K

Para realizar la siguiente tabla se ha utilizado la expresión (7) que se obtiene al realizar un balance de energía a los espacios no habitables, igualando el calor que se transmite desde los espacios habitables, que tienen mayor temperatura (9), al calor que se transmite al exterior desde estos espacios no habitables que tienen una temperatura mayor que el exterior (8) y despejando la temperatura de estos últimos que es el dato que se quiere obtener.

Tabla 14. Temperaturas de los espacios no habitables

Mes	$t_e$	T <sup>a</sup> Garaje	T <sup>a</sup> Cubierta	T <sup>a</sup> C. de servicios
Noviembre	8,7º C	8,7º C	16,6º C	14,6º C
Diciembre	5,3º C	6,3º C	15,6º C	13,0º C
Enero	4,7º C	5,8º C	15,5º C	12,7º C
Febrero	6,7º C	7,6º C	16,1º C	13,7º C
Marzo	9,0º C	9,8º C	16,7º C	14,8º C
Abril	11,3º C	11,9º C	17,4º C	15,9º C

### 3.3.4 PÉRDIDAS DE CALOR POR TRANSMISIÓN

Para cada uno de los elementos de la envolvente se construye una tabla en la que se calcula la superficie en contacto con el exterior o con espacios no habitables, su transmitancia, la temperatura exterior y el calor transmitido utilizando la expresión (10).

Tabla 15. Pérdidas de calor por la fachada

FACHADA		
Superficie: 85,31 m <sup>2</sup>		U <sub>M</sub> = 1,354 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	1306,00 W
Diciembre	5,3º C	1698,60 W
Enero	4,7º C	1767,94 W
Febrero	6,7º C	1536,83 W
Marzo	9,0º C	1271,06 W
Abril	11,3º C	1005,30 W

Tabla 16. Pérdidas de calor por el tabique interior

TABIQUE INTERIOR		
Superficie: 11,13 m <sup>2</sup>		U <sub>P</sub> = 2,390 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	14,6º C	142,75 W
Diciembre	13,0º C	185,69 W
Enero	12,7º C	193,27 W
Febrero	13,7º C	168,01 W
Marzo	14,8º C	138,96 W
Abril	15,9º C	109,90 W

Tabla 17. Pérdidas de calor por las ventanas

VENTANAS		
Superficie: 8,57 m <sup>2</sup>		U <sub>H</sub> = 2,54 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	246,00 W
Diciembre	5,3º C	319,99 W
Enero	4,7º C	333,05 W
Febrero	6,7º C	289,51 W
Marzo	9,0º C	239,45 W
Abril	11,3º C	189,38 W

Tabla 18. Pérdidas de calor por la puerta principal

PUERTA PRINCIPAL		
Superficie: 2,42 m <sup>2</sup>		U <sub>H</sub> = 3 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	82,04 W
Diciembre	5,3º C	106,72 W
Enero	4,7º C	111,08 W
Febrero	6,7º C	96,56 W
Marzo	9,0º C	79,86 W
Abril	11,3º C	63,16 W

Tabla 19. Pérdidas de calor por la puerta de acceso al garaje

PUERTA DE ACCESO AL GARAJE		
Superficie: 1,91 m <sup>2</sup>		U <sub>H</sub> = 3 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	64,74 W
Diciembre	6,3º C	78,28 W
Enero	5,8º C	81,47 W
Febrero	7,6º C	70,82 W
Marzo	9,8º C	58,58 W
Abril	11,9º C	46,33 W

Tabla 20. Pérdidas de calor por la puerta del jardín

PUERTA JARDÍN		
Superficie: 4,03 m <sup>2</sup>		U <sub>H</sub> = 2,78 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	126,60 W
Diciembre	5,3º C	164,69 W
Enero	4,7º C	171,41 W
Febrero	6,7º C	149,01 W
Marzo	9,0º C	123,24 W
Abril	11,3º C	97,47 W

Tabla 21. Pérdidas de calor por la solera

SOLERA		
Superficie: 99,55 m <sup>2</sup>		U <sub>S</sub> = 1,16 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	1305,00 W
Diciembre	5,3º C	1697,53 W
Enero	4,7º C	1766,81 W
Febrero	6,7º C	1535,86 W
Marzo	9,0º C	1270,26 W
Abril	11,3º C	1004,66 W

Tabla 22. Pérdidas de calor por el falso techo

FALSO TECHO		
Superficie: 99,55 m <sup>2</sup>		U <sub>P</sub> = 8,33 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	16,6º C	2781,00 W
Diciembre	15,6º C	3618,04 W
Enero	15,5º C	3765,72 W
Febrero	16,1º C	3273,47 W
Marzo	16,7º C	2707,38 W
Abril	17,4º C	2141,29 W

Tabla 23. Pérdidas de calor por el muro del garaje

MURO GARAJE		
Superficie: 32,35 m <sup>2</sup>		U <sub>p</sub> = 0,926 W/m <sup>2</sup> K
Mes	t <sub>e</sub>	Q
Noviembre	8,7º C	337,85 W
Diciembre	6,3º C	408,53 W
Enero	5,8º C	425,21 W
Febrero	7,6º C	369,62 W
Marzo	9,8º C	305,70 W
Abril	11,9º C	241,78 W

En la siguiente tabla se resumen las pérdidas de calor en vatios (W) mes a mes:

Tabla 24. Pérdidas de calor por la envolvente

Envolvente	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Fachada	1306,00	1698,60	1767,94	1536,83	1271,06	1005,30
Tabique interior	142,75	185,69	193,27	168,01	138,96	109,90
Ventanas	246,00	319,99	333,05	289,51	239,45	189,38
Puerta principal	82,04	106,72	111,08	96,56	79,86	63,16
Puerta garaje	64,74	78,28	81,47	70,82	58,58	46,33
Puerta jardín	126,60	164,69	171,41	149,01	123,24	97,47
Solera	1305,00	1697,53	1766,81	1535,86	1270,26	1004,66
Falso techo	2781,00	3618,04	3765,72	3273,47	2707,38	2141,29
Muro garaje	337,85	408,53	425,22	369,62	305,70	241,78
SUMAS:	6392,00	8278,08	8615,96	7489,69	6194,48	4899,27

Para la elaboración de la siguiente tabla se toman los datos de la tabla 24 de pérdidas de calor, y las horas que tiene cada mes para calcular los MJ que se requieren para la calefacción. Para el consumo de gasoil, se calcula en primer lugar el rendimiento de la caldera existente, una ISTER 30 M-E, que según los datos del fabricante tiene una potencia nominal de 29,3 kW y una

potencia útil de 27,8 kW. El rendimiento de esta caldera es del 94,9% sobre el PCI. Funciona con gasoil que tiene un poder calorífico inferior de 40,18 MJ/L. Por lo que esta caldera tiene un consumo de 0,026 L/MJ

Tabla 25. Consumo energético en calefacción

Mes	W	MJ
Noviembre	6391,79	16567,52
Diciembre	8278,08	22172
Enero	8615,96	23076,98
Febrero	7489,69	18119,06
Marzo	6194,48	16591,29
Abril	4899,27	12698,91
Total		109225,77

### 3.3.5 DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS

Para el cálculo de la demanda energética para la producción de agua caliente sanitaria se siguen los criterios del Documento Básico HE sección 4 del CTE. Partimos de una demanda diaria de 90 L de agua a 60°C.

De la norma UNE 94.002/95 se obtienen las temperaturas del agua de red:

Tabla 26. Temperatura del agua de red en Huesca

Temperatura del agua de red en Huesca (°C), $T_i$											
Enero	Febre.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Novi.	Dici.
7° C	8° C	10° C	11° C	14° C	16° C	19° C	18° C	17° C	13° C	9° C	7° C

La siguiente tabla se confecciona con los parámetros anteriores y calculando la demanda energética utilizando la expresión (11)

Tabla 27. Demanda energética mensual para la producción de agua caliente sanitaria

Mes	N (días)	kg de agua	$T_i$	$E_{ACS}$ (MJ)
Enero	31	2790 kg	7° C	618,097 MJ
Febrero	28	2520 kg	8° C	547,747 MJ
Marzo	31	2790 kg	10° C	583,110 MJ
Abril	30	2700 kg	11° C	553,014 MJ
Mayo	31	2790 kg	14°C	536,461 MJ
Junio	30	2700 kg	16° C	496,584 MJ
Julio	31	2790 kg	19° C	478,150 MJ
Agosto	31	2790 kg	18° C	489,812 MJ
Septiembre	30	2700 kg	17° C	485,298 MJ
Octubre	31	2790 kg	13° C	548,123 MJ
Noviembre	30	2700 kg	9° C	575,586 MJ
Diciembre	31	2790 kg	7° C	618,097 MJ

## 4 INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS

### 4.1 DESCRIPCIÓN

Para la producción de agua caliente sanitaria con energía solar se ha optado por un equipo termosifónico.

Se ha elegido el DS-compact Inox 1.150 de Domusa de entre los demás modelos del mercado considerados por su relación prestaciones – precio.

El funcionamiento de estos equipos es por convección natural, debida a las diferencias de densidad entre el fluido caloportador frío y caliente. Conforme se va calentando en el captador el fluido disminuye su densidad y va subiendo. Cuando llega al acumulador, como este tiene en su interior un intercambiador de calor, cede parte de su calor al agua y, al enfriarse, aumenta su densidad y entonces desciende hasta la parte inferior del captador en donde comienza a calentarse de nuevo.

Las principales ventajas de este sistema son las siguientes:

- La velocidad de intercambio térmico es proporcional a la diferencia de temperatura entre el acumulador y los captadores.
- La circulación se autorregula.
- Montaje rápido y económico.
- Ausencia de bombas de circulación, centralitas y sondas, lo que los hace enormemente fiables.
- Están prácticamente libres de mantenimiento.
- La inversión inicial es relativamente pequeña.

## 4.2 DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

Para el cálculo del aporte solar se utilizará el método *f*-Chart, que está ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para un periodo de tiempo largo. Permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación decalor total necesario para cubrir la carga térmica, y de su rendimiento medio en un determinado periodo de tiempo. Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos. El proceso de cálculo aquí planteado está tomado del libro de Pedro Rufes Martínez “Energía solar térmica”. El método consiste en obtener, a partir de una serie de correlaciones experimentales, la cobertura solar de la instalación, es decir, el porcentaje de demanda energética que se puede llegar a cubrir con aportación solar. Este porcentaje puede obtenerse a partir del cálculo previo de la superficie colectora y del volumen de acumulación de la instalación. El método *f*-Chart es adecuado para el diseño de una instalación, permitiendo conocer de forma precisa las condiciones de funcionamiento mensuales de la instalación.

### Método de cálculo:

El objetivo de este proceso de cálculo es determinar la cobertura solar anual, para ello se utiliza la expresión:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum Q_u / \sum E_{ACS} \quad (12)$$

Para realizar este cálculo es preciso determinar la energía útil captada cada mes,  $Q_u$ , según:

$$Q_u = f E_{ACS} \quad (13)$$

Para aplicar esta expresión hay que conocer previamente el valor de la fracción de la energía mensual de calentamiento aportada por el sistema solar,  $f$ , a través de la expresión:

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3 \quad (14)$$

Esta expresión plantea dos incógnitas,  $D_1$  y  $D_2$ , por un lado se calcula  $D_1$  que es la relación entre la energía absorbida por el captador y la energía mensual de calentamiento:

$$D_1 = E_a / E_{ACS} \quad (15)$$

Para esto es preciso determinar la energía absorbida por los captadores,  $E_a$  según la expresión:

$$E_a = E_i A_c N F'_r (\tau\alpha)_n \quad (16)$$

donde  $N$  es el número de días del mes,  $E_i$  es la energía incidente sobre la superficie del captador por metro cuadrado y por día,  $A_c$  es el área de los captadores y  $F'_r (\tau\alpha)_n$  es un factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

$$F'_r (\tau\alpha)_n = F_r (\tau\alpha)_n K_{at} F'_r / F_r \quad (17)$$

donde  $F_r (\tau\alpha)_n$  es el factor de eficiencia óptica del captador, lo proporciona el fabricante,  $K_{at}$  es el modificador del ángulo de incidencia de la radiación solar, se le da un valor de 0,94 y  $F'_r / F_r$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, se recomienda tomar un valor de 0,95.

Para despejar la expresión 16 se calcula la energía incidente  $E_i$  según la expresión:

$$E_i = H k \quad (18)$$

donde  $H$  es la energía media diaria incidente sobre una superficie horizontal por metro cuadrado, se obtiene de la tabla 29 y  $k$  es el factor de inclinación según el ángulo elegido y la latitud del lugar, se obtiene de la tabla 28.

Tabla 28. Factor de corrección  $k$  para superficies inclinadas. (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. IDAE)

LATITUD = 42°													
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	1,06	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	
10	1,15	1,2	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,06	1,11	1,15	1,18	1,17	
15	1,21	1,17	1,13	1,08	1,04	1,03	1,04	1,09	1,15	1,22	1,26	1,25	
20	1,27	1,21	1,15	1,09	1,04	1,03	1,05	1,1	1,18	1,28	1,34	1,32	
25	1,32	1,25	1,17	1,09	1,04	1,01	1,04	1,1	1,21	1,33	1,4	1,38	
30	1,36	1,28	1,19	1,09	1,02	1	1,02	1,1	1,23	1,37	1,46	1,44	
35	1,39	1,3	1,19	1,08	1	0,97	1	1,09	1,23	1,4	1,51	1,48	
40	1,42	1,31	1,19	1,06	0,97	0,94	0,97	1,08	1,24	1,42	1,54	1,52	
45	1,43	1,32	1,18	1,04	0,94	0,9	0,94	1,05	1,23	1,43	1,57	1,54	
50	1,44	1,31	1,16	1	0,89	0,86	0,9	1,02	1,21	1,44	1,59	1,56	
55	1,44	1,3	1,13	0,97	0,85	0,8	0,85	0,98	1,19	1,43	1,59	1,57	
60	1,43	1,28	1,1	0,92	0,79	0,75	0,8	0,93	1,15	1,41	1,59	1,57	
65	1,41	1,25	1,06	0,87	0,74	0,69	0,74	0,88	1,11	1,39	1,57	1,55	
70	1,38	1,21	1,01	0,81	0,67	0,62	0,67	0,82	1,07	1,35	1,55	1,53	
75	1,35	1,17	0,96	0,75	0,6	0,55	0,6	0,76	1,01	1,31	1,52	1,5	
80	1,3	1,12	0,9	0,68	0,53	0,48	0,53	0,69	0,95	1,25	1,47	1,46	
85	1,25	1,06	0,83	0,61	0,46	0,4	0,46	0,62	0,88	1,19	1,42	1,41	
90	1,19	1	0,76	0,54	0,38	0,32	0,38	0,54	0,81	1,12	1,36	1,35	

Tabla 29. Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Huesca	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6

Para la expresión 16 todavía falta determinar el valor de la superficie de captadores,  $A_c$ , mediante la siguiente expresión:

$$A_c = (Q_{DIARIA} f) / (H_0 \eta) \quad (19)$$

donde  $Q_{DIARIA}$  es el valor medio anual de la demanda energética diaria (MJ/día) de la tabla 27,  $f$  es la fracción solar para la que se tomará un valor de 0,3,  $H_0$  es el valor medio anual de la energía diaria que incide sobre una superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup> día) (ver tabla 29) y  $\eta$  es el rendimiento de la instalación, de forma aproximada se tomará 0,5. Se redondea a un valor correspondiente a un número entero de captadores. Si la contribución resultante fuese inferior al 50%, que es lo que marca el DB HE 4 para la zona climática en la que se encuentra la vivienda, debería recalcularse de nuevo aumentando el número de captadores.

Por otro lado, para calcular  $D_2$ , que expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador para una determinada temperatura (100°C) y la energía de calentamiento durante un mes se utiliza la expresión:

$$D_2 = E_p / E_{ACS} \quad (20)$$

donde  $E_p$  es la energía perdida por el captador y se determina a través de la siguiente expresión:

$$E_p = A_c F' r U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2 \quad (21)$$

donde  $A_c$  es la superficie de los captadores en m<sup>2</sup>,  $t_a$  es la temperatura media

mensual del ambiente durante las horas diurnas que se toma de la tabla 30,  $\Delta t$  es el periodo de tiempo considerado en segundos,  $K_1$  es un factor de corrección por almacenamiento,  $K_2$  es un factor de corrección para ACS relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de la red y la media mensual del ambiente y  $F'_r U_L$  es el producto de la pendiente de la curva característica del captador por el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador:

$$F'_r U_L = F_r U_L (F'_r / F_r) \quad (22)$$

donde  $F_r U_L$  es la pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador) y  $(F'_r / F_r)$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador.

Para el cálculo de  $K_1$  se utilizará la siguiente expresión:

$$K_1 = [V_{ac}/(75 A_c)]^{-0,25} \quad (23)$$

donde  $V_{ac}$  es el volumen de agua almacenada en el acumulador en litros y  $A_c$  es el área total de los captadores. Además, el Pliego de Condiciones Técnicas de las Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, apartado 3 Criterios generales de diseño, exige que se cumpla que:

$$18 < V_{ac}/A_c < 180 \quad (24)$$

Para el cálculo de  $K_2$  se utilizará la siguiente expresión:

$$K_2 = (11,6 + 1,18 t_{ac} + 3,86 T_i - 2,32 t_a) / (100 - t_a) \quad (25)$$

donde  $t_{ac}$  es la temperatura mínima requerida de ACS,  $T_i$  es la temperatura del agua de red que se toma de la tabla 26 y  $t_a$  es la temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas que se toma de la tabla 30.

Tabla 30. Temperatura ambiente media durante las horas de sol. (UNE 94003)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Huesca	4,7	6,7	9	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3

### Aplicación del método a la vivienda unifamiliar:

Para llevar a cabo los cálculos se procede en orden inverso calculando las variables para las cuales ya disponemos de todos los datos.

Con la expresión 19 se hace una aproximación al área necesaria de captadores:

$$A_c = (17,89 \times 0,3) / (14,6 \times 0,5) = 0,735 \text{ m}^2$$

Aproximamos a un captador que tiene un área de 1,9 m<sup>2</sup>

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de las Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, apartado 3 Criterios generales de diseño, el volumen de acumulación debe ser aproximadamente igual al de la demanda diaria. En este caso se selecciona el equipo que más se aproxima a este valor, el que tiene un volumen de acumulación de 150 L. Este equipo sólamente tiene la versión con un captador. Se comprueba la relación entre el volumen de acumulación y la superficie de captación:

$$150 \text{ L} / 1,9 \text{ m}^2 = 78,95$$

Este valor cumple el requisito de (24):

$$18 < 78,95 < 180$$

que impone el Pliego de Condiciones Técnicas.

Con la expresión (23) se calcula el factor de corrección por almacenamiento,  $K_1$

$$K_1 = [150 \text{ L} / (75 \times 1,9 \text{ m}^2)]^{0,25} = 0,99$$

Con la expresión (25) se calcula el factor de corrección para ACS,  $K_2$

Tabla 31. Cálculo de  $K_2$

Mes	$t_{ac}$	$T_i$	$t_a$	$K_2$
Enero	60°C	7°C	7°C	1,002
Febrero	60°C	8°C	8°C	1,030
Marzo	60°C	10°C	12°C	1,059
Abril	60°C	11°C	15°C	1,060
Mayo	60°C	14°C	18°C	1,155
Junio	60°C	16°C	22°C	1,194
Julio	60°C	19°C	25°C	1,303
Agosto	60°C	18°C	25°C	1,252
Septiembre	60°C	17°C	21°C	1,257
Octubre	60°C	13°C	16°C	1,136
Noviembre	60°C	9°C	11°C	1,029
Diciembre	60°C	7°C	7°C	1,002

Con la expresión (22) se calcula el producto  $F'_r U_L$

$$F'_r U_L = 4,999 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0,95 = 4,75$$

Con la expresión (21) se calcula la energía perdida por el captador,  $E_p$

Tabla 32. Cálculo de  $E_p$

Mes	$A_c$	$F'_r U_L$	$t_a$	$\Delta t$	$K_1$	$K_2$	$E_p$
Enero	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	7°C	2678400	0,99	1,002	2223,26
Febrero	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	8°C	2419200	0,99	1,030	2041,29
Marzo	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	12°C	2678400	0,99	1,059	2222,78
Abril	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	15°C	2592000	0,99	1,060	2079,5
Mayo	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	18°C	2678400	0,99	1,155	2259,05
Junio	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	22°C	2592000	0,99	1,194	2150,15

Julio	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	25°C	2678400	0,99	1,303	2332,06
Agosto	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	25°C	2678400	0,99	1,252	2239,96
Septiembre	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	21°C	2592000	0,99	1,257	2292,85
Octubre	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	16°C	2678400	0,99	1,136	2277,66
Noviembre	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	11°C	2592000	0,99	1,029	2115,51
Diciembre	1,9 m <sup>2</sup>	4,75	7°C	2678400	0,99	1,002	2223,26

Con la expresión (17) se calcula

$$F'_r (\tau\alpha)_n = 0,751 \times 0,94 \times 0,95 = 0,67$$

Con las tablas 28 y 29, y con las expresiones (16) y (18) se calcula la energía absorbida por el captador en un mes,  $E_a$

Tabla 33. Cálculo de  $E_a$

Mes	$A_c$	$F'_r (\tau\alpha)_n$	H	k	$E_i$	N (días)	$E_a$
Enero	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	6,1	1,42	8,66	31	342,16
Febrero	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	9,6	1,31	12,58	28	448,69
Marzo	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	14,3	1,19	17,02	31	672,19
Abril	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	18,7	1,06	19,82	30	757,73
Mayo	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	20,3	0,97	19,69	31	777,81
Junio	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	22,1	0,94	20,77	30	794,12
Julio	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	23,1	0,97	22,41	31	885,1
Agosto	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	20,9	1,08	22,57	31	891,61
Septiembre	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	16,9	1,24	20,96	30	801,08
Octubre	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	11,3	1,42	16,05	31	633,83
Noviembre	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	7,2	1,54	11,88	30	423,86
Diciembre	1,9 m <sup>2</sup>	0,67	5,1	1,52	7,75	31	306,21

Con las expresiones (13), (14), (15) y (20) se calcula la relación entre la energía absorbida por el captador y la demanda energética en un mes,  $D_1$ , la relación entre las pérdidas de energía en el captador y la demanda energética en un mes,  $D_2$ , la fracción solar,  $f$  y la energía útil captada cada mes,  $Q_u$

Tabla 34. Cálculo del factor solar y la energía útil

Mes	$E_a$	$E_p$	$E_{ACS}$	$D_1$	$D_2$	$f$	$Q_u$
Enero	342,16	2223,26	618,09	0,554	3,597	0,2877	177,81
Febrero	448,69	2041,29	547,75	0,819	3,727	0,4731	259,13
Marzo	672,19	2222,78	583,11	1,153	3,812	0,6719	391,81
Abril	757,73	2079,5	553,01	1,370	3,760	0,7863	434,83
Mayo	777,81	2259,05	536,46	1,450	4,211	0,8006	429,51
Junio	794,12	2150,15	496,58	1,599	4,330	0,8592	426,68
Julio	885,1	2332,06	478,15	1,851	4,877	0,9274	443,45
Agosto	891,61	2239,96	489,81	1,820	4,573	0,9314	456,19
Septiembre	801,08	2292,85	485,29	1,651	4,725	0,8608	417,73
Octubre	633,83	2277,66	548,12	1,156	4,155	0,6565	359,85
Noviembre	423,86	2115,51	575,59	0,736	3,675	0,4189	241,11
Diciembre	306,21	2223,26	618,09	0,495	3,597	0,2417	149,42
TOTAL	7734,38	26457,31	6530,08				4187,54

Con los valores de la tabla 34 y la expresión (12) obtenemos la cobertura solar anual:

$$f_{\text{anual}} = 4187,54 / 6530,08 = 0,6413 = 64,13\%$$

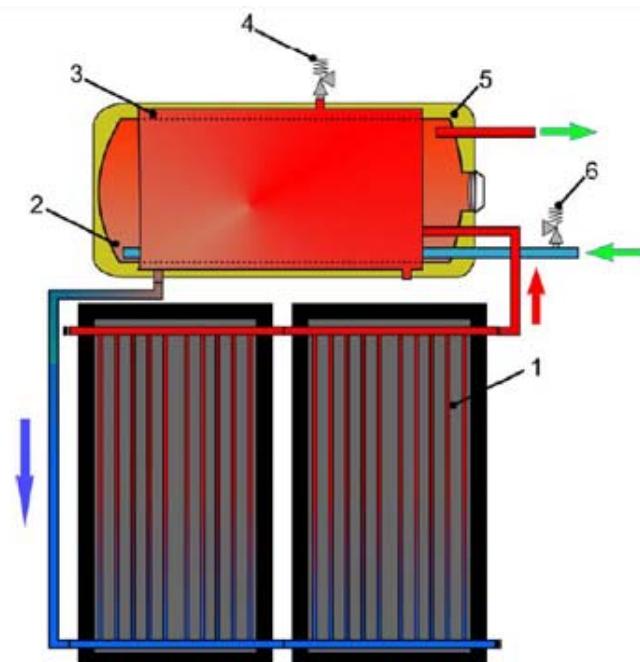
valor que está por encima del 50% que marca el DB HE 4 para la zona climática en la que se encuentra la vivienda.

## 4.3 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

En la figura 1 se muestra el esquema de la instalación de producción de ACS con energía solar por el sistema de termosifón.

En verde se indican las direcciones de circulación del agua caliente sanitaria.

En rojo se indica el ascenso del fluido caloportador caliente y en azul el descenso del mismo cuando ya está frío.



- |   |   |
|---|---|
| 1. Captador solar.                                  | 4. Válvula de seguridad del circuito solar. |
| 2. Acumulador inoxidable (circuito secundario)      | 5. Aislamiento del poliuretano expandido.   |
| 3. Intercambiador de doble cámara (circuito solar). | 6. Válvula de seguridad ACS.                |

Figura 1. Esquema de la instalación termosifónica

El funcionamiento en el circuito solar está basado en el principio de la circulación por termosifón. El líquido caloportador es calentado por la energía solar absorbida por el captador solar (1). El líquido caloportador caliente, más ligero, sube a través de los captadores y circula por la doble

cámara (3) del acumulador (2), cediendo calor al agua sanitaria que se encuentra en el acumulador. Al enfriarse el líquido caloportador se vuelve más denso, refrescando a los captadores donde se vuelve a calentar.

Para asegurar un correcto funcionamiento, es necesario que todos los tubos de conexión entre los captadores y el acumulador estén inclinados, de manera que no se forme ningún sifón. Además es obligatorio purgar el circuito solar de forma que se evague todo el aire antes de su puesta en marcha.

## 4.4 COMPONENTES

### 4.4.1 ACUMULADOR

El acumulador está especialmente diseñado para el funcionamiento por termosifón. Con ello se facilita el flujo del líquido del circuito solar, con lo que se consigue un óptimo aprovechamiento de la energía solar.

El intercambio de calor se realiza por circuito indirecto, es decir el agua sanitaria no está en contacto con los captadores solares. El agua sanitaria se almacena en el acumulador inoxidable que está recubierto por el líquido solar. Es este líquido el que pasa por los captadores calentándose y transmitiendo el calor absorbido en los captadores al agua del acumulador.

En cuanto al aislamiento, toda su superficie está aislada por poliuretano expandido.

Tiene un volumen de 150 litros. Su diámetro exterior es de 581 mm. Su altura es de 1179 mm. Su peso en vacío es de 75 kg y lleno de 225 kg.

En la figura 2 se pueden apreciar las tomas y componentes que integran el acumulador.

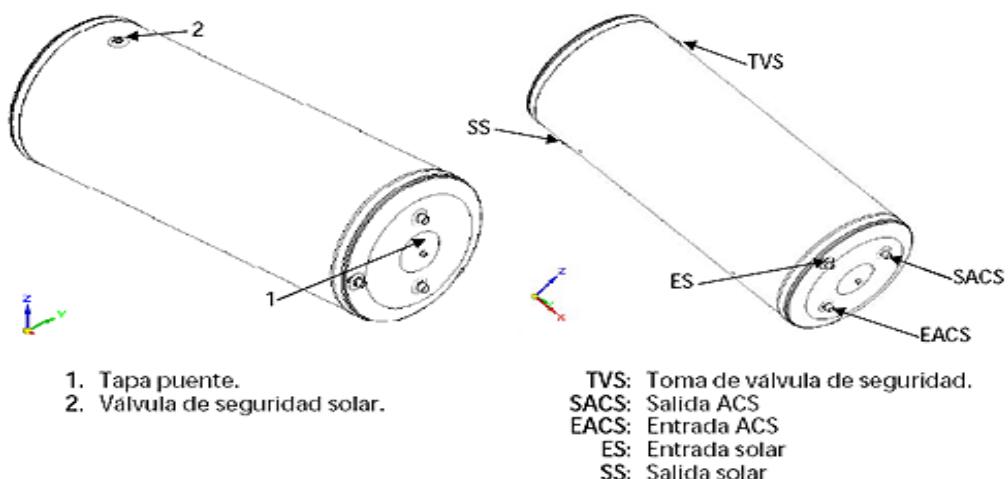


Figura 2. Tomas y componentes del acumulador

#### **4.4.2 CAPTADOR SOLAR**

La carcasa exterior es de aluminio, lo que asegura una larga duración. El aislamiento en lana de roca se combina con el absorbedor selectivo, ofreciendo un excelente aislamiento térmico y absorción de la radiación.

Las uniones están diseñadas con racores de compresión, lo cual hace que la conexión del captador solar sea muy sencilla y flexible.

Tiene una superficie de absorción de 1,9 m<sup>2</sup>. Requiere para su llenado 1,07 L de líquido solar. La máxima temperatura de salida que admite es 203°C.

Tiene un rendimiento solar de 75,1%. El coeficiente de rendimiento k1 es 4,999 W/m<sup>2</sup>K. Sus dimensiones son, de ancho 1041 mm, 1988 mm de alto, 90 mm de profundidad con un peso de 37 kg vacío y 38,07 kg lleno.

#### **4.4.3 OTROS ELEMENTOS**

El conjunto de la instalación se completa con los tubos de conexión, la válvula de seguridad del circuito solar, la válvula de seguridad del circuito de agua caliente sanitaria, el vaso de expansión del agua caliente sanitaria, el líquido anticongelante y los rácores de conexión.

## 5 INSTALACIÓN DE CALDERA DE BIOMASA

### 5.1 DESCRIPCIÓN

Como alternativa para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción se propone una caldera de biomasa.

El equipo elegido es la estufa Caldea Base de Jolly-Mec. Esta decisión se ha tomado porque tiene la ventaja de permitir cocinar, tanto en horno como en superficie caliente, además de funcionar tanto con pellet como con leña.

Es una estufa “combinada”, de fuego continuo, que funciona con dos combustibles económicos y renovables: la leña y el pellet.

Se trata de una instalación de calefacción de alto rendimiento, de combustión controlada y prolongada que independientemente, sin necesidad de ser combinado con otras fuentes de calor, calienta toda la casa, utilizando en cada momento el combustible que prefiera el usuario, al tiempo que se preserva el medio ambiente.

Con el funcionamiento a leña se ahorra el 60% sobre el precio del combustible. Con el funcionamiento a pellets está asegurado el confort del funcionamiento automático como sucede con toda caldera. También puede producir agua caliente sanitaria. Funcionando a pellets es suficiente retirar las cenizas y controlar la cámara de combustión sólamente cada una o dos semanas.

Sus dimensiones son: 1155 mm de ancho, 630 mm de fondo y 1050 mm de alto. Operando con leña tiene una potencia nominal de 26,8 kW y una eficiencia de 84,7%. Operando con pellet tiene una potencia nominal de 22,89 kW y una eficiencia de 91,54%. La superficie de intercambio es de

2,57 m<sup>2</sup>. La salida de humos tiene un diámetro de 150 mm. Pesa 140 kg en vacío. El contenido de agua es de 35 L. Suministra un caudal de ACS con un salto térmico de 40°C de 7 L / min. La presión de prueba es de 4,5 bar y la máxima de trabajo de 2 bar.

## 5.2 CÁLCULOS

El aporte de energía de la biomasa tiene que ser el mismo que hoy está aportando la caldera de gasoil y este se encuentra resumido en las tablas 25 y 27. Es  $109225,77 \text{ MJ} + 6530,08 \text{ MJ} = 115755,85 \text{ MJ}$  al año.

Se va a suponer que el 75% de la energía aportada procederá de los pellet y el 25% restante de la leña. El fabricante nos da como dato que la eficiencia trabajando con pellet es del 91,54% y con leña es del 84,7% ambas sobre el PCI. El poder calorífico inferior de los pellet es 18,83 MJ/kg según el proveedor y el de la leña es 15,48 MJ/kg para maderas duras como haya y roble que son las que recomienda el fabricante de la caldera.

Para calcular los kilogramos de combustible necesarios al año se dividirá la energía total necesaria,  $E_t$  entre el PCI.

Para calcular la energía total necesaria se divide la energía útil,  $E_u$  entre la eficiencia de la caldera.

Se calcularán las necesidades de combustible con y sin considerar el aporte solar determinado en el apartado anterior para disponer de estos datos cuando se haga el estudio de cuál es la opción más interesante.

Tabla 35. Necesidades anuales de combustibles

	Con aporte solar		Sin aporte solar	
	Pellet	Leña	Pellet	Leña
Energía útil	83676,23 MJ	27892,08 MJ	86816,89 MJ	28938,96 MJ
Energía total	91409,48 MJ	32930,43 MJ	94840,38 MJ	34166,43 MJ
Cantidad combust.	4854,98 kg	2127,29 kg	5037,20 kg	2207,13 kg

### 5.3 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

En la figura 3 se muestra el esquema de esta caldera.



Figura 3. Esquema de la caldera Caldea

El quemador está construido con un sistema patentado exclusivo que confiere a las paredes interiores una superficie de intercambio ondulada que hace que se triplique esta superficie, aumentando el rendimiento y obteniendo una combustión controlada y prolongada.

Está equipada con “CaldoControl”, un sistema patentado de regulación y control automático de la combustión que optimiza el consumo de leña, de manera que sólo quema la cantidad necesaria para alcanzar la temperatura requerida. Se evita así el consumo innecesario de combustible, disminuyendo los costes y aumentando la autonomía de una carga de leña.

Caldea viene equipada de serie con el conjunto hidráulico de vaso cerrado, ya montado y probado con producción de agua caliente y dos intercambiadores de enfriamiento que controlan y ajustan la temperatura del agua en caso de corte de corriente.

Con el funcionamiento a pellet se puede controlar a través del sistema electrónico de control la potencia entre un mínimo de 1 kW y un máximo de 22,89 kW.

Dispone de encendido automático que se puede programar semanalmente a través del control electrónico.

El quemador de pellet dispone carga inferior y dosificador, de manera que la cantidad de pellet alimentada sea siempre la exacta para un llenado y combustión ideales.

## **5.4 COMPONENTES**

### **5.4.1 CUBREPLACA**

En la figura 3 con el número 1.

Sólo está disponible en la versión Lujo. Realizada con un elegante diseño, la cubierta que da acceso a la práctica placa radiante.

### **5.4.2 PLACA RADIANTE**

En la figura 3 con el número 2.

En hierro fundido, utilizable tanto para cocinar como para calentar platos. Permite su extracción para la limpieza.

### **5.4.3 HORNO DE TERRACOTA**

En la figura 3 con el número 3.

Horno tradicional realizado con un material económico y resistente.

### **5.4.4 SISTEMA ONDULING**

En la figura 3 con el número 4.

Superficie de intercambio térmico ondulada.

### **5.4.5 HOGAR**

En la figura 3 con el número 5.

Amplio, convertible con un sencillo desplazamiento de la rejilla para la alimentación con leña o con pellet. Se puede utilizar también para cocinar.

#### **5.4.6 CAJÓN DE CENIZAS**

En la figura 3 con el número 6.

Frontal y extraible para una mayor comodidad y limpieza. Recoje la ceniza producida por la combustión de los pellet y de la leña y permite igualmente regular la entrada de aire de combustión.

#### **5.4.7 VÁLVULA DE HUMOS MANUAL**

En la figura 3 con el número 7.

Optimiza la combustión y reduce los consumos.

#### **5.4.8 INTERCAMBIADOR DE ENFRIAMIENTO**

En la figura 3 con el número 8.

Realizado en cobre, garantiza la seguridad controlando la temperatura del agua y asegura la salida del calor, incluso en caso de corte de suministro eléctrico.

#### **5.4.9 CONJUNTO HIDRÁULICO**

En la figura 3 con el número 9.

Ensamblado y probado para garantizar el funcionamiento y ahorrar costes imprevistos.

Consta de los siguientes elementos:

- Válvula de seguridad de descarga térmica.
- Válvula de seguridad de 2,5 a 3,5 bares.
- Bomba para la calefacción y el agua caliente sanitaria.
- Controlador de caudal de agua (fluxostato).
- Grupo de carga.
- Vaso de expansión cerrado.
- Válvula de desaireación.
- Válvula de derivación.
- Reductor de presión.

#### **5.4.10 AISLAMIENTO**

En la figura 3 con el número 10.

Realizado en lana de roca, evita la transmisión del calor y aumenta el rendimiento de la caldera.

#### **5.4.11 INTERCAMBIADOR DE PLACAS**

En la figura 3 con el número 11.

Proporciona instantáneamente agua caliente sanitaria.

#### **5.4.12 PANEL DE MANDOS**

En la figura 3 con el número 12.

Termostatos, interruptores, termómetros, instrumentos de control; este panel permite controlar la instalación con una alta garantía de seguridad.

El panel de mandos electrónico simplificado gestiona el funcionamiento de la caldera tanto en modo leña como pellet. Gracias al cronotermostato incorporado, el control regula automáticamente el encendido y la parada del pellet si es necesario incluso cuando la leña se agota (solicitado por el termostato de la caldera). Por medio del sensor de nivel mínimo colocado en el depósito de pellet y de otro suplementario, el control emite una señal acústica cuando los pellet están a punto de acabarse. Es capaz de controlar la temperatura del agua de eventuales sistemas de acumulación y efectúa un chequeo completo de los componentes incluso si la caldera está apagada.

#### **5.4.13 ANTICONDENSACIÓN**

En la figura 3 con el número 13.

Evita la formación de condensación y de incrustaciones para una mayor eficacia y rendimiento constante en el tiempo.

#### **5.4.14 CALDOCONTROL**

En la figura 3 con el número 14.

Regulación automática de la combustión.

## 6 ESTUDIO ECONÓMICO

### 6.1 INSTALACIÓN PARA ACS

#### 6.1.1 COSTES

Los costes de la instalación de agua caliente sanitaria con energía solar incluyen por un lado, los costes de inversión que son los de la instalación propiamente dicha y por otro los de su funcionamiento que incluirían los de operación y mantenimiento pero en este caso no hay costes de operación.

Los costes de la instalación se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 36. Costes de instalación de ACS

Elemento	Unidades	Precio unitario	Total
DS-compact Inox 1.150 Domusa	1	1754	1754
Líquido anticongelante 5L	1	35	35
Vaso expansión ACS 8L	1	51	51
Válvula de seguridad ACS	1	8	8
Oficial primera	6	20	120
Ayudante	6	18	108
Peón	3	15	45
Pequeño material de fontanería	1	150	150
<b>TOTAL</b>			<b>2271</b>
<b>TOTAL IVA INCLUIDO</b>			<b>2.679,78 €</b>

Los costes de funcionamiento se limitan al mantenimiento de la instalación. Aunque el instalador dispone de un contrato de mantenimiento de 50 € al año IVA incluido, las operaciones de mantenimiento que hay que realizar son tan sumamente sencillas que un usuario un poco habilidoso y con tiempo las puede llevar a cabo, esto reduce el costo de mantenimiento a 15 € al año. En el apartado del estudio económico se verán ambas opciones.

## **6.1.2 AHORROS**

El ahorro que se obtiene con esta instalación es el del aporte energético solar: 4187,54 MJ y teniendo en cuenta el poder calorífico neto que se obtiene de la caldera (38,13 MJ/L de gasoil) supone un ahorro de 109,82 L de gasoil al año.

## 6.2 CALDERA DE BIOMASA

### 6.2.1 COSTES

Los costes de la caldera de biomasa son por un lado los costes de la instalación propiamente dicha y por otro los de su funcionamiento.

Los costes de la instalación se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 37. Costes de instalación de la caldera de biomasa

Elemento	Unidades	Precio unitario	Total
Caldea Base Jolly-Mec	1	9000	9000
Cono salida libre KGCO15 Convesa	1	83,56	83,56
Módulo de 1 m. KGT115 Convesa	4	140,18	560,72
Cubre aguas aj. HICU20 Convesa	1	70,13	70,13
Soporte base reg. KGSB15 Convesa	1	183,87	183,87
Soporte mural reg. HISI20 Convesa	1	18,36	18,36
Oficial primera	3	20	60
Ayudante	3	18	54
Peón	1	15	15
Pequeño material de fontanería	1	50	50
<b>TOTAL</b>			<b>10095,64</b>
<b>TOTAL IVA INCLUIDO</b>			<b>11.912,86 €</b>

Los costes de funcionamiento, que incluyen mantenimiento y operación, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 38. Costes de funcionamiento anual de la caldera de biomasa

Descripción	Unidades	Precio unitario	Total
Mantenimiento	1	50	50
Pellet con a. solar	4854,98	0,19	922,43
Leña con a. solar	2127,29	0,1	212,73
Pellet sin a. solar	5037,2	0,19	957,07
Leña sin a. solar	2207,13	0,1	220,71

Por tanto, con aporte de energía solar los costes son 1398,49 €/año IVA incluido y sin aporte de energía solar, son 1448,78 €/año IVA incluido.

## **6.2.2 AHORROS**

El ahorro que se obtiene con esta instalación es el del aporte energético de la biomasa: 115755,85 MJ, que teniendo en cuenta el poder calorífico neto que se obtiene de la caldera (38,13 MJ/L de gasoil) supone un ahorro de 3035,82L de gasoil.

## 7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para analizar la posible rentabilidad de las distintas opciones se usan dos parámetros el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, y es la estimación de los flujos de caja que tenga cada opción.

Se realiza una estimación de los ingresos durante los veinte años de vida útil de cada una de las instalaciones, para que sea rentable el VAN tendrá que ser superior a cero, lo que significará que se ha recuperado la inversión inicial más lo que se hubiera obtenido de haberlo puesto a plazo fijo.

La fórmula para el cálculo del VAN es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (26)$$

donde I es la inversión,  $Q_n$  es el flujo de caja del año  $n$ ,  $r$  la tasa de interés con la que estamos comparando y  $N$  el número de años de la inversión.

Otra forma de calcular lo mismo es mirar la Tasa Interna de Retorno, que sería el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Si la TIR es alta, estamos ante una opción muy interesante. Sin embargo si la TIR es baja, la opción no es aconsejable.

Se han calculado estos valores con diversas hipótesis y se representarán en sucesivas gráficas.

En la primera, figura 4, se aprecia la variación de la TIR con diferentes incrementos del precio del gasoil. Como valores fijos se han tomado el 3% para el incremento de los gastos de mantenimiento y operación y también para el interés del plazo fijo.

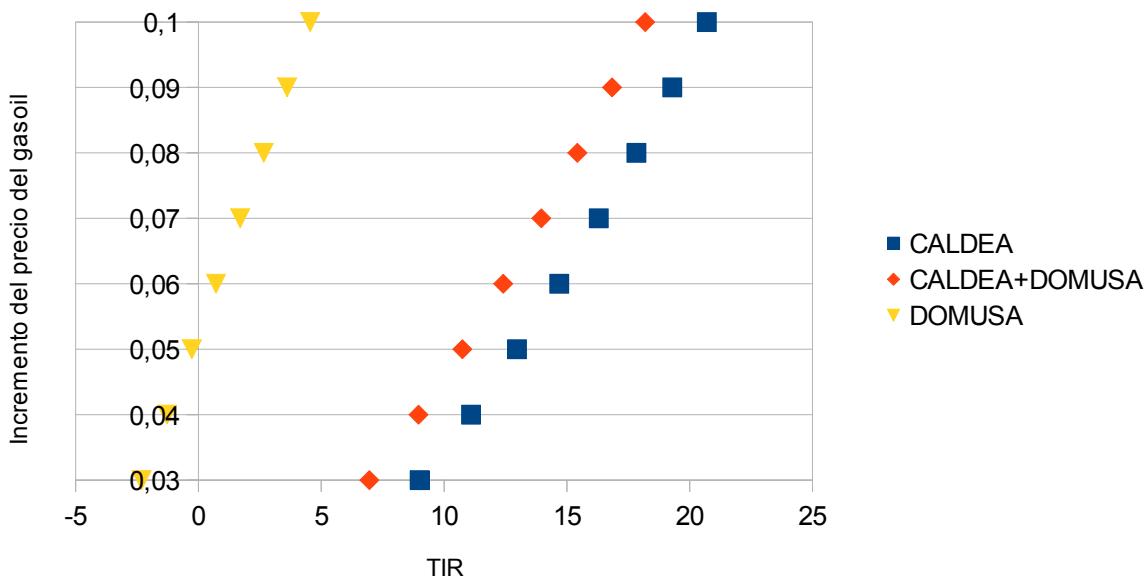


Figura 4. Variación de la TIR con el incremento del precio del gasoil

En las siguientes gráficas, figuras 5 y 6, se ha representado también la variación de la TIR con respecto a la variación del incremento del precio del gasoil. En este caso se ha tomado el valor fijo del 2% para la figura 5 y el 4% para la 6, tanto para el incremento de los gastos de mantenimiento y operación como para el interés del plazo fijo. Se puede apreciar de la comparación de las tres gráficas que la variación de la TIR con respecto al incremento del precio del gasoil es semejante con los demás datos fijos y que lo que varía es un desplazamiento del eje de abscisas.

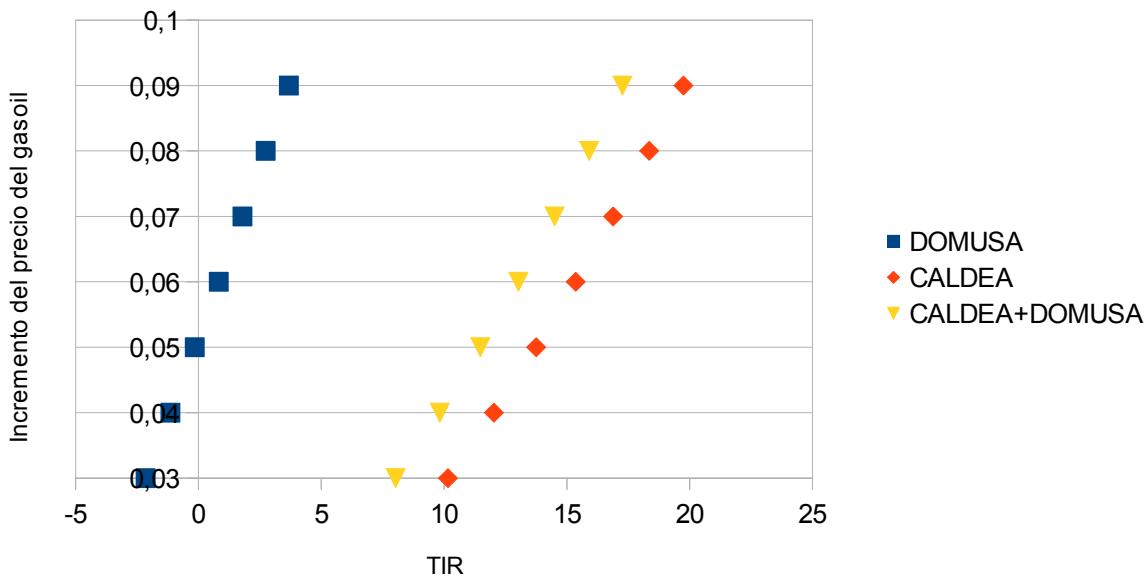


Figura 5. Variación de la TIR con el incremento del precio del gasoil

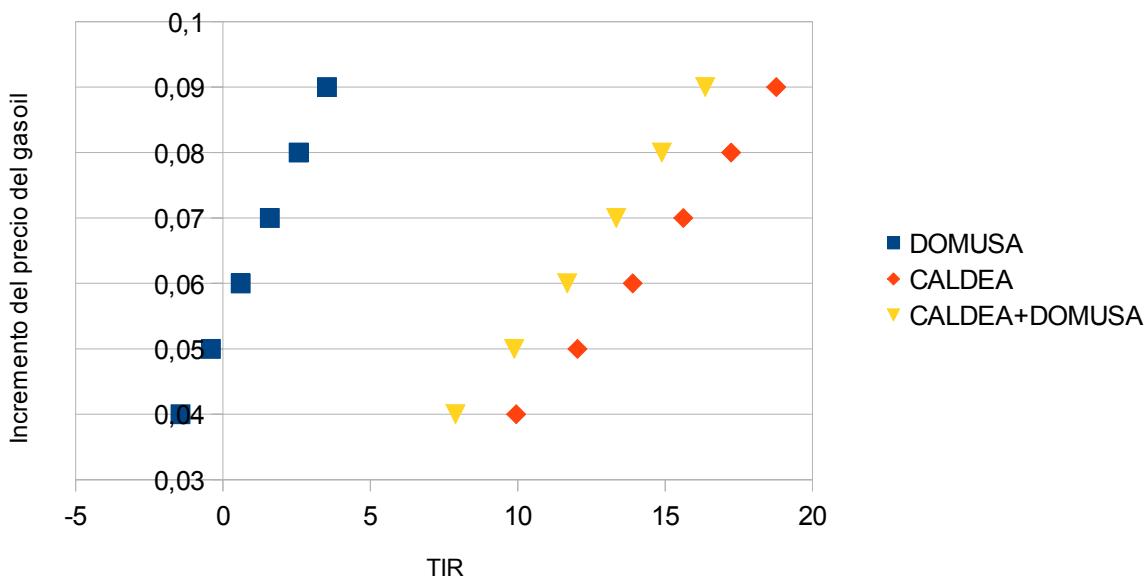


Figura 6. Variación de la TIR con el incremento del precio del gasoil

En la siguiente gráfica, se ha dejado fija la variable correspondiente al interés del plazo fijo y se han variado simultáneamente el incremento del precio del gasoil y el de los gastos de mantenimiento y operación.

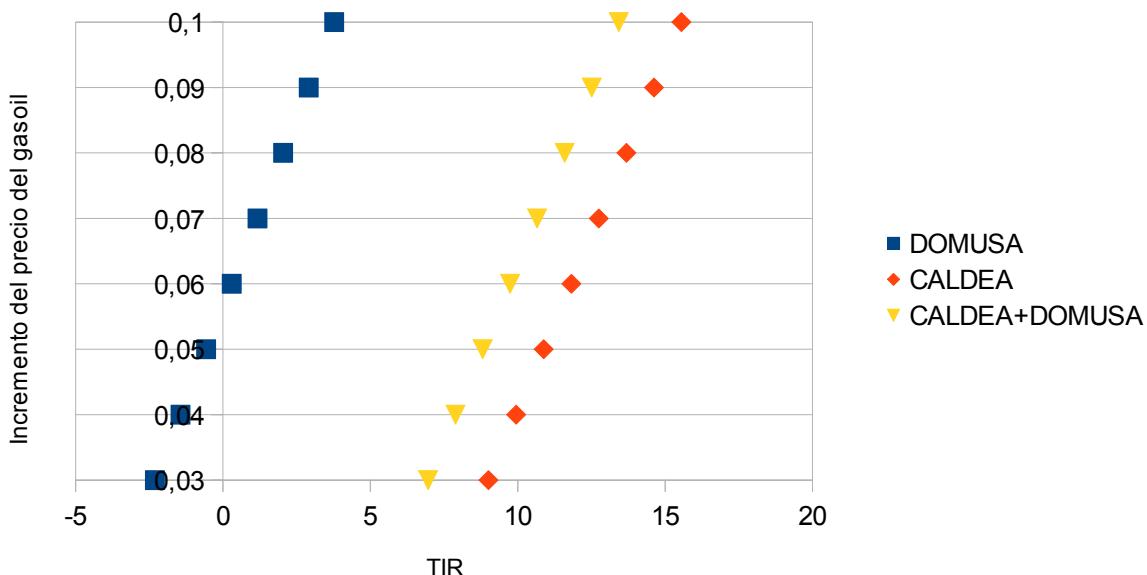


Figura 7. Variación de la TIR con el incremento de los precios del gasoil y del mantenimiento y operación

En la figura 7 el interés del plazo fijo se ha dejado constante en el 3% y se han variado simultáneamente los del gasoil y los gastos de mantenimiento y operación desde el 3% hasta el 10%. Se han realizado los cálculos para otras series dejando fijo el interés del plazo fijo y variando simultáneamente el precio del gasoil y los gastos de mantenimiento y operación y se ha observado que las TIR obtenidas eran invariables.

En la figura 8 se ha dejado fijo el incremento de los gastos de mantenimiento y operación en el 3% y se han variado simultáneamente el interés del plazo fijo y el incremento del precio del gasoil. Se observa que la figura 8 es igual que la figura 3.

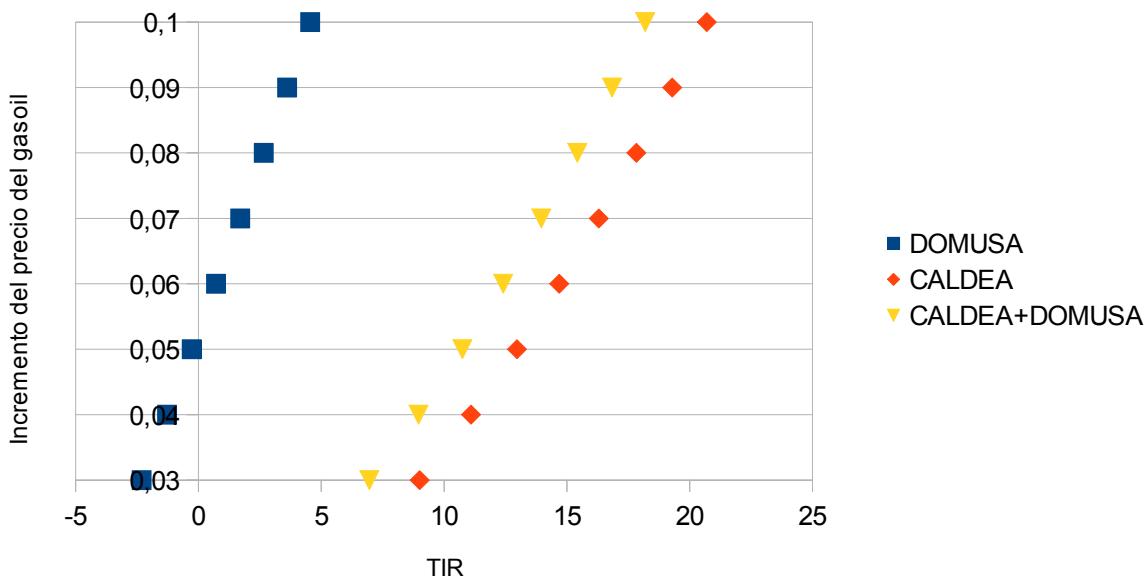


Figura 8. Variación de la TIR con el incremento de los precios del gasoil y del interés del plazo fijo

El otro parámetro que se debe estudiar es el de las posibles ayudas que se puedan recibir. El IDAE otorga ayudas directas, es decir a fondo perdido, a través de las Comunidades Autónomas dentro del “Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4)” y se gestionan de forma compartida con las CC.AA. a través de sendos convenios establecidos entre el IDAE y cada Comunidad Autónoma.

El Gobierno de Aragón, en su reunión del día 26 de julio de 2005, a propuesta del Consejero de Industria, Comercio y Turismo, adoptó en Acuerdo por el que se aprobó el Plan Energético de Aragón 2005-2012. Para alcanzar los objetivos de dicho Plan se aprobó el Decreto 216/2005 por el que se establecen subvenciones para la promoción de las energías renovables. A través de la Orden de 26 de octubre de 2010 se efectúa la convocatoria para el año 2011 para la concesión de las citadas subvenciones. Aunque el plazo para las solicitudes terminó en diciembre pasado es de esperar que en breve

salga la convocatoria de ayudas para el próximo año en unas condiciones semejantes a las de años anteriores. Para sistemas prefabricados como es el que se propone para ACS, 812€/m<sup>2</sup> que supone 1542,8€. Si se descuenta esta cantidad del coste de la instalación y se repiten los cálculos en las mismas condiciones de la figura 4, se obtiene la gráfica representada en la figura 9.

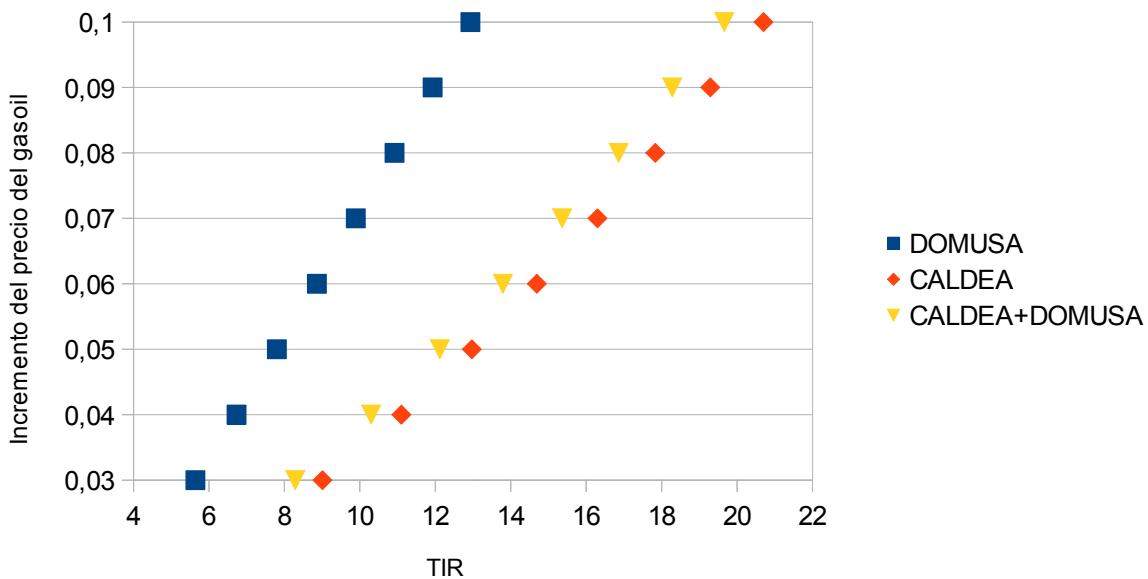


Figura 9. Variación de la TIR con el incremento del precio del gasoil con subvención para la energía solar

En la figura 9 se puede apreciar como la forma de la representación es la misma que en la 4 pero desplazándose los datos de la instalación solar a la parte positiva de la gráfica.

## 8 CONCLUSIONES

En el proyecto se ha realizado el estudio de las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar y con estos datos el estudio de viabilidad técnica y dimensionamiento de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y de una caldera de biomasa. Posteriormente se ha realizado el estudio económico de ambas opciones y el análisis de estos resultados.

En la primera parte se ha determinado que las necesidades energéticas anuales de la vivienda para calefacción y ACS son 115755,85 MJ al año.

En segundo lugar se ha dimensionado la instalación solar y el resultado es que con una placa de 1,9 m<sup>2</sup> y un depósito acumulador de 150 L se consigue cubrir el 64,13% de las necesidades anuales de ACS.

En tercer lugar se ha visto que con la caldera de biomasa propuesta, que rinde una potencia de hasta 25000 kW, se pueden cubrir las necesidades totales de la vivienda incluso sin aporte de energía solar.

En el apartado de análisis de resultados se ha demostrado que la influencia del crecimiento del precio del gasoil es determinante en el plazo de amortización de las inversiones y por tanto en su rentabilidad.

Como conclusión más obvia, como se ve en las gráficas de la variación de la TIR, con la subvención y una previsión de que el gasoil suba un 1% su precio más rápido que la biomasa y la leña, las tres opciones son rentables tomando como dato de inversión segura a largo plazo las “Obligaciones del Tesoro” a 15 años tenemos un interés del 6,191%.

Por otro lado hay que dejar claro que en estos supuestos no se ha considerado en ningún caso el coste de la caldera de gasoil porque es un equipamiento presente. Si esta circunstancia no se hubiera dado, la

subvención no hubiera sido necesaria para valorar como rentable la instalación solar, incluso con un incremento del precio del gasoil igual al de la biomasa.

**Visto todo lo anterior, se recomienda la instalación de los dos equipamientos si hay disponibilidad financiera pues se pueden considerar una buena inversión ya que se puede esperar de ambos equipamientos una vida útil superior a su periodo de amortización.**

El trabajo realizado en este proyecto tiene además dos aspectos adicionales a considerar, por un lado la posibilidad de llevarlo a cabo en la práctica y por otro lado abre la puerta para una posible continuación buscando soluciones para la limitación en la superficie de los captadores y consecuentemente en el volumen de acumulación.