

CAPÍTULO 1. INSTALACIÓN A.C.S. Y CALEFACCIÓN

1.1. Campo solar para ACS + caldera de biomasa para calefacción

1.1.1. Cálculo de demandas

1.1.1.1. Cálculo de la demanda de ACS

1.1.1.1.1. Cálculo de la contribución solar mínima

Para determinar la contribución solar mínima con apoyo de biomasa, primero se necesita conocer cuál es la demanda de A.C.S.

Según el CTE-HE-4 en su punto 3.1.1. Tabla 3.1.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Para edificios residenciales la demanda de A.C.S. es de 55 litros ACS/día a 60 °C, como temperatura de diseño. Dado que se ha decidido usar los 45 °C como medida de seguridad frente a los equipos por el incremento de temperatura, los datos transcritos para dicha temperatura usando la fórmula expuesta más abajo, es de 80,36 litros ACS/día a 45 °C por cama de media en el edificio.

$$D(T) = \sum_1^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ \text{C}) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

Siendo:

$D(T)$ = demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura t elegida.

$D_i(T)$ = demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura t elegida.

$D_i(60^\circ\text{C})$ = demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura de 60°C

T = temperatura del acumulador final.

T_i = temperatura media del agua fría en el mes i

Teniendo en cuenta que el edificio objeto de estudio tiene una ocupación de hasta 80 plazas, la demanda de ACS será de 80 plazas x 80,36 litros ACS/día por cama = 6.428,80 litros ACS/día a 45°C .

Los datos obtenidos de la demanda energética del edificio, que se muestran a continuación, se han obtenido a través de la fórmula siguiente, en la cual los datos de partida son:

- Datos correspondientes de la temperatura mensual del agua fría para Sevilla.
- Demanda media de 80,36 l/plaza

$$D_i(t_a) = [Q_{\text{MES}} \times (T_a - T_f)] / 860$$

Donde;

T_f = temperatura de agua fría ($^\circ\text{C}$)

T_a = temperatura de acumulación ($^\circ\text{C}$)

Q_{MES} = consumo mensual de agua caliente sanitaria en el edificio (l/mes)

$D_i(T_a)$ = energía útil requerida para la producción de A.C.S. (kWh/mes)

PROYECTO FIN DE CARRERA

Se ha considerado como fuente para la obtención de la temperatura de agua fría en Sevilla, la tabla nº 4 (Tº media de agua de red general en °C) correspondiente al pliego del IDAE del 2009.

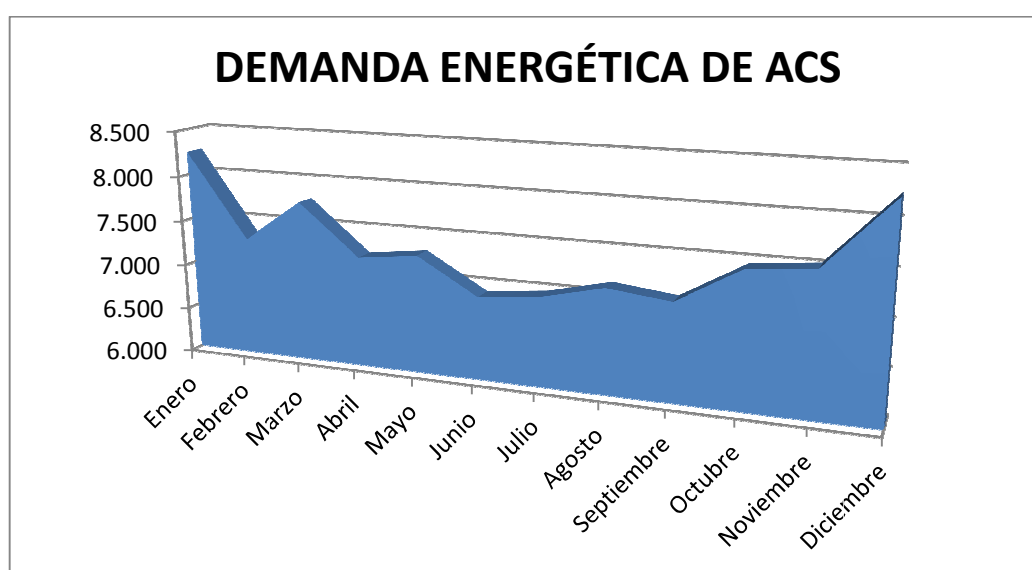
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2	ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3	ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4	ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5	ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6	ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7	BADAJOS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8	BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9	BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10	BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11	CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12	CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13	CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14	CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15	CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16	CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17	CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18	LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19	CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20	GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21	GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22	GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23	GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24	HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25	HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27	LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28	LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29	LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30	MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31	MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32	MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33	MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34	NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35	ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36	PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37	LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38	PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39	LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40	SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41	STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42	SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43	SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44	SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45	TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46	TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47	TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48	VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49	VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50	VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51	ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52	ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Temperaturas medias de agua de Red (IDAE 2009)

PROYECTO FIN DE CARRERA

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO	CONSUMO MENSUAL EDIFICIO	ΔT°	DEMANDA ENERGÉTICA
		Litros/día	Litros/mes	$^{\circ}\text{C}$	kWh/mes
Enero	31	77,30	191.704	37	8.247,73
Febrero	28	77,92	174.540,8	36	7.306,40
Marzo	31	79,26	196.564,8	34	7.771,17
Abril	30	80,78	193.872	32	7.213,84
Mayo	31	81,61	202.392,8	31	7.295,55
Junio	30	82,50	198.000	30	6.906,98
Julio	31	83,45	206.956	29	6.978,75
Agosto	31	82,50	204.600	30	7.137,21
Septiembre	30	81,61	195.864	31	7.060,21
Octubre	31	80,78	200.334,4	32	7.454,30
Noviembre	30	79,26	190.224	34	7.520,48
Diciembre	31	77,30	191.704	37	8.247,73
TOTAL(anual)					89.140,35

Obteniendo una demanda energética total al año de 89.140,35 kWh/año, que repartido a lo largo de cada mes, se aprecia en la siguiente gráfica:



Según la radiación solar global media, nuestro edificio estará situado en una zona climática concreta, que para la zona de Almería, según la tabla 3.3 del CTE-HE-4, le pertenece la zona climática V.



Según la tabla 2.1 y 2.2., del punto 2.2 del CTE-HE4, atendiendo al tipo de energía auxiliar que se vaya a usar, la contribución mínima solar deberá ser del 70%.

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

Contribución solar mínima en %. Caso general.

PROYECTO FIN DE CARRERA

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Contribución solar mínima en %. Caso efecto joule.

- a) Caso general: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras.
- b) Caso efecto joule: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto joule.

1.1.1.2. Cálculo de la demanda de calefacción

1.1.1.2.1. Cálculo de la demanda mediante el método de grado-día

El método de grado-día fue el primer método desarrollado para estimar la demanda de calor para calefacción y tiene varias deficiencias importantes que hacen que se desestime su uso para otras aplicaciones que no sean pequeños edificios o viviendas. Sin embargo, es un método que se considera útil para hacer comparaciones de instalaciones de biomasa con instalaciones convencionales o para comparar los requerimientos de calefacción entre una localidad y otra. Su interés radica en su simplicidad, considerándose adecuado para realizar unas primeras estimaciones de la demanda energética.

Los grados día de cada localidad representan la suma de las diferencias de temperatura entre una temperatura base (generalmente 15°C) y la temperatura exterior durante el período de calefacción.

Una de las deficiencias del método de grado-día es que no tiene en cuenta la influencia de las condiciones exteriores en la eficiencia de los equipos de generación de calor. Esto que tiene gran importancia cuando el equipo es una bomba de calor, apenas influye cuando el equipo es una caldera.

Según el método del grado día, la energía demandada se define según la siguiente expresión:

$$E_{\text{útil}} = \frac{Q_{\text{edificio}} \cdot (24 \cdot GD_{15})}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}} \cdot C_u \cdot C_i$$

Donde;

$E_{\text{útil}}$ Energía calorífica útil demandada por el edificio (kWh/año)

Q_{edificio} Carga térmica total del edificio (kW)

GD_{15} Grados día anuales en base 15

T_{int} Temperatura interior de diseño (°C)

T_{ext} Temperatura exterior de diseño (°C)

C_u Coeficiente de uso

C_i Coeficiente de intermitencia

1.1.1.2.2. Cálculo mediante F-Chart para calefacción

La aplicación “F-Chart ACS-Calefacción” es una hoja de cálculo .xls (en formato Excell) en la que se ha implementado un método de cálculo para estimar los aportes térmicos de instalaciones solares combinadas para preparación de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción.

La herramienta utiliza como base de cálculo es el método denominado “de los grados-día”. Este método, ya explicado en un epígrafe anterior, es más exacto, ya que a partir de una estimación del coeficiente “kg” de aislamiento, coeficiente propio del edificio que caracteriza su capacidad de intercambio térmico con el exterior,

calcula la demanda de calefacción del mismo. El kg del edificio se calcula a partir de una geometría simplificada consistente en suponer que los edificios tienen planta cuadrada y que todas sus plantas tienen la misma altura. Las características de los cerramientos se simplifican seleccionando uno de entre tres grandes tipos: Muros de fábrica, paneles sándwich, y muros cortina de vidrio.

Datos introducidos en el programa:

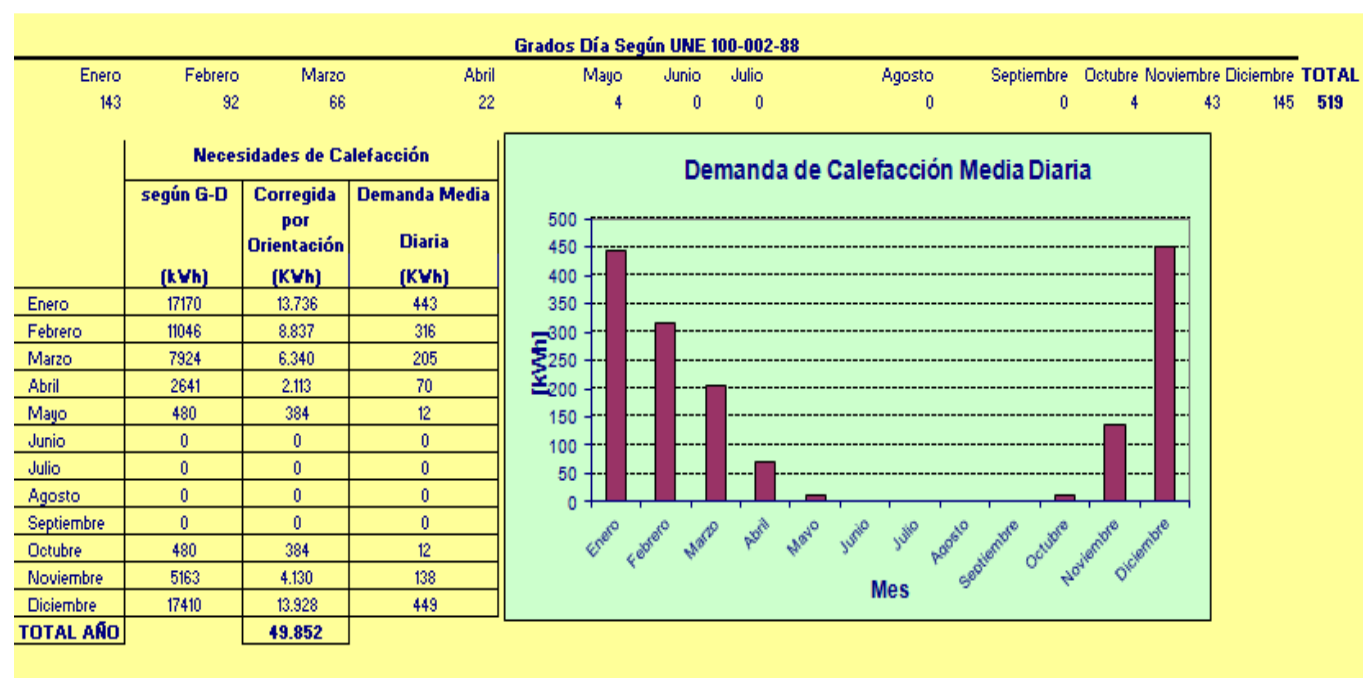
- Superficie Acondicionada:	2.719,21 m ²
- N° de plantas	2
- Altura de plantas	3 m
- Orientación	Sur
- Tipo de Edificio:	
Exento	X
- Tipo de construcción:	
Muros de fábrica	X
Según los resultados que arroja el programa:	GD ₁₅ = 519
Energía Demandada:	49.852 kWh/año

Teniendo en cuenta estos resultados aplicando la expresión del método Grado-día, se obtiene que la potencia necesaria de calefacción es 112,06 kW.

Nos acogemos a los valores del programa F-chart para el posterior dimensionamiento de las instalaciones de calefacción.

A continuación se puede observar los datos arrojados por el programa, se puede observar la demanda necesaria para cada mes.

PROYECTO FIN DE CARRERA



1.1.2. Dimensionado del campo solar para ACS

1.1.2.1. Cálculo de la carga de consumo

Es la carga de consumo media diaria mensual: M (l/día)

$$M = \text{Factor reductor (\%)} \times M.\text{max}$$

Según CTE, Consumo x demanda = 80,36 litros (45°)

$$M.\text{max} = 80,36 \text{ l/día} \times 80 \text{ usuarios} = 6.428,8 \text{ l/día}$$

De la ocupación media mensual se obtiene un factor reductor del consumo diario máximo (M.max).

Dado que nuestra ocupación es del 100% para todo el año;

$$M = 1 \times 6.428,8 \text{ l/día} = 6.428,8 \text{ l/día}$$

1.1.2.2. Área de captación

Se conoce que cada m^2 de captador calienta aproximadamente unos 80 litros de agua al día.

$$M/A = 80 \text{ l/m}^2 \text{ día}$$

Según especificaciones Técnicas a nivel autonómico de la Junta de Andalucía, se establece que;

$$60 \leq M/A \leq 100 \text{ lm}^2 / \text{día}$$

Conocido M, suponiendo una relación de 80

$$A = 6.428,8/80 = 80,36 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que la superficie de captación del elegido es de unos 2 m^2 , nuestro campo solar tendrá 40 captadores.

1.1.2.3. Volumen de acumulación

El volumen de acumulación se ha seleccionado cumpliendo con las especificaciones del RITE-ITE 10 en el punto 2 del apartado 1.3: Generalidades de la sección HE-4 DB-HE CTE.

$$0.8 < V/M < 1.2$$

Donde:

M: Consumo medio diario en los meses de verano, expresado en litros/día.

V: Volumen de acumulación expresado en litros.

$$50 < (V/A) < 180$$

Donde:

A: Suma de las áreas de los captadores.

V: Volumen de acumulación expresado en litros.

Suponemos 6.000 litros, que cumple con la condición;

$$0,80 < 6.000/6.428,8 < 1,2$$

$$0,80 < 0,95 < 1,2 \quad \textbf{Cumple}$$

1.1.2.4. Cálculo de la contribución solar

1.1.2.4.1. Método F-Chart

Mediante el método de las curvas 'f' (F-Chart), hemos realizado el cálculo de la cobertura solar y del rendimiento medio para periodos de cálculo mensuales y anuales. En este caso el porcentaje de ocupación que tendrán los alojamientos, será del 100%, ya que este método no da resultados precisos a cargas parciales.

Se asume un volumen de acumulación equivalente, de forma aproximada, a la carga de consumo diario promedio. La superficie de captación se dimensiona para conseguir una fracción solar anual superior al 70%, tal como se indica el apartado 2.1, 'Contribución solar mínima', de la sección HE-4 DB-HE CTE.

El valor resultante para la superficie de captación es de 80,4 m², y una relación V/A = 74,6 lm²/día. Se explica a continuación el proceso tomado para realizar los cálculos con dicho método. Se ha usado el programa de cálculo f-chart, que la Agencia andaluza de la Energía, propone.

Este programa, como he mencionado se basa en el método de las curvas 'f', que será explicado a continuación:

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c \cdot F'_r \cdot (\tau\alpha) \cdot R_i \cdot N$$

Donde:

S_c = Superficie del captador (m^2).

R_i = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m^2).

N = Número de días del mes.

$F_r(\tau\alpha)$ = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_p} \right] \cdot \left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$$

Donde:

$F_r(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

F_r' / F_r = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95. El parámetro $D2$ expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$D2$ = Energía perdida por el captador / Carga calorífica mensual La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c F_r' U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2$$

Donde: S_c = Superficie del captador (m^2).

$$F_r' U_L = F_r U_L \left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$$

Donde:

$F_r U_L$ = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)

T_a = Temperatura media mensual del ambiente

t = Período de tiempo considerado en segundos (s)

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = \left[\frac{\text{kg acumulación}}{75 \cdot S_c} \right]^{-0.25}$$

$37,5 < (\text{kg acumulación}) / (m^2 \text{ captador}) < 300$ K_2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = 11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_r - \frac{2,32 \cdot t_a}{100 - t_a}$$

Donde: t_{ac} = Temperatura mínima del A.C.S.

t_r = Temperatura del agua de red.

t_a = Temperatura media mensual del ambiente.

Una vez obtenido $D1$ y $D2$, 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:

$$Q_u = f Q_a$$

Donde: Q_a = Carga calorífica mensual de A.C.S. Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

1.1.2.4.1.1. Datos introducidos en el programa f-chart

- Datos de diseño

Provincia: Sevilla

Orientación: Sur

Inclinación: 45°

Nº de colectores: 40

Volumen de acumulación: 6.000 litros

Tipo de sistema: Indirecto

Eficiencia del intercambiador: 80%

PROYECTO FIN DE CARRERA

• Consumos

Nº máximo de usuarios: 80 usuarios

Litros agua caliente/usuario día: 80 litros

Ocupación: 100% todo el año

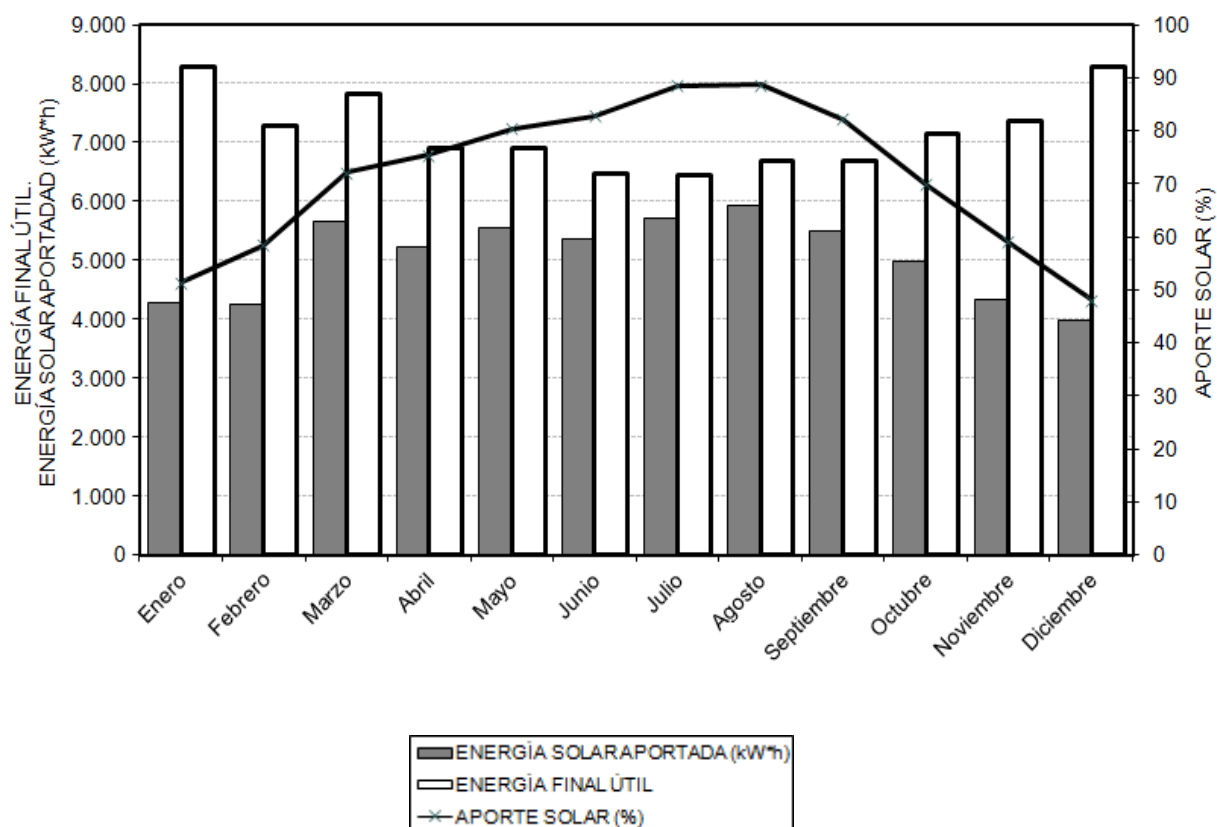
1.1.2.4.1.2. Resultados

La cobertura solar anual conseguida mediante el sistema es igual al 70 %. En este sentido sería válido para una zona como Sevilla, siempre y cuando el sistema auxiliar no sea eléctrico.

	Ocupación (%)	Energía Final Util (kW·h)	Energía Solar Aportada (kW·h)	Aporte solar (%)	Agua Caliente (m3/mes)
Enero	100	8.293	4.266	51,4	198
Febrero	100	7.282	4.260	58,5	179
Marzo	100	7.832	5.649	72,1	198
Abril	100	6.911	5.215	75,5	192
Mayo	100	6.911	5.558	80,4	198
Junio	100	6.465	5.353	82,8	192
Julio	100	6.450	5.708	88,5	198
Agosto	100	6.681	5.923	88,7	198
Septiembre	100	6.688	5.494	82,1	192
Octubre	100	7.141	4.986	69,8	198
Noviembre	100	7.357	4.346	59,1	192
Diciembre	100	8.293	3.990	48,1	198
TOTAL AÑO	100	86.305	60.748	70,4	2336
Valor en MJ		310.698	218.693		

Como se observa en la columna de aporte solar, se obtiene un aporte superior al 70%, de contribución solar mínima, cumpliendo con el CTE.

PROYECTO FIN DE CARRERA



Además cumplimos con el punto **2.1.3 del CTE-DB-HE-4**, el cual dice que el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 % y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

1.1.2.5. Cálculo del circuito hidráulico

1.1.2.5.1. Cálculo del caudal de diseño

La normativa fija un intervalo que limita el caudal de diseño (Q_d) según;

$$42 \leq Q_d \leq 60 \text{ l/hora m}^2$$

Para instalaciones de uso de ACS, se usará normalmente 50 l/hora m² como caudal de diseño.

En el caso de que todos los captadores y baterías estén conectados en paralelo, el caudal del circuito primario se determinará: $QT = Qd \times m_{cap}^2$.

En caso de conexionado en serie, el caudal de diseño se divide por número de captadores (o baterías de captadores) conectados en serie.

$$QT = (Qd / Ns) \times m_{cap}^2 = (50 / 2) \times 80,4 = 2.010 \text{ l/h}$$

A partir de estos caudales, podemos determinar tanto el caudal que circula por cada tramo como el caudal total del circuito.

1.1.2.5.2. Dimensionado de tuberías

La normativa vigente fija una pérdida de carga máxima de 40 mm.c.a. por metro de tubería.

La pérdida de carga en una tubería será función de:

- El caudal (l/h) que circula.
- El diámetro (mm) de la tubería.
- La longitud (m) de la tubería.

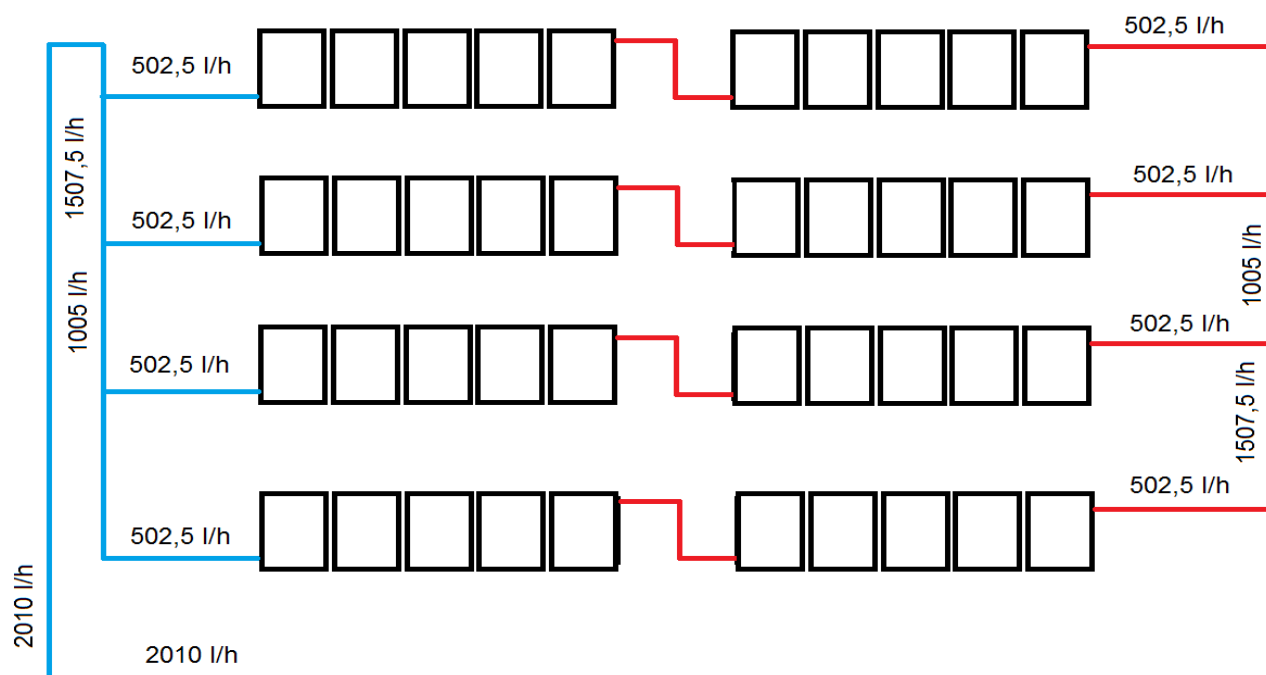
Por tanto, el primer paso consistirá en determinar el caudal que circula por cada tramo de tubería.

Una vez determinado el caudal que circula por cada tramo y empleando el ábaco de cálculo de pérdidas de carga, o en su caso el programa de pérdidas de carga de la Agencia Andaluza de la Energía, herramienta que ha sido usada para tal cometido.

Para determinar el caudal que circula por cada tramo, partimos del caudal que circula por cada batería.

En la distribución de agua a las baterías nos encontramos:

PROYECTO FIN DE CARRERA



Las tuberías por las que circule el mismo caudal tendrán el mismo diámetro.

En la tabla siguiente se indica el caudal máximo que puede circular por una tubería de cobre, con objeto de no superar la pérdida de carga de 40 mm.c.a., por metro lineal.

Diámetro Exterior (mm)	Caudal Máximo (l/h)
12	150
15	280
18	500
22	850
28	1.750
35	3.250
42	5.400
54	10.800

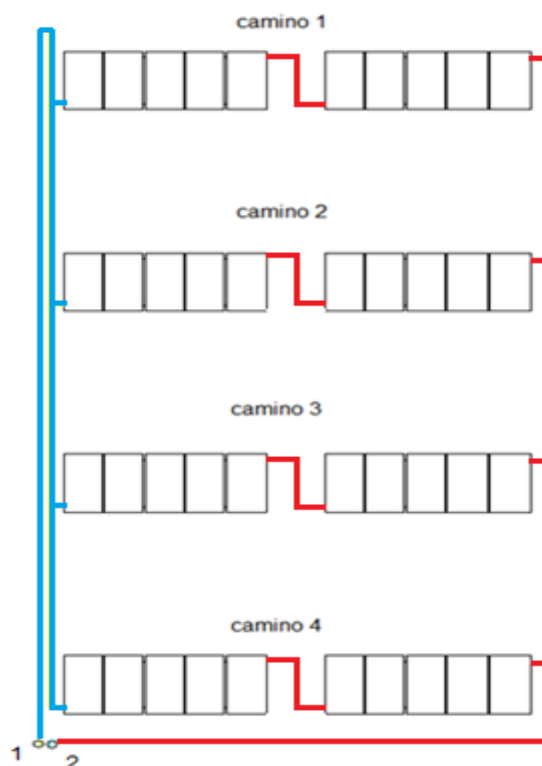
1.1.2.5.2.1. Cálculo de la pérdida de carga

La pérdida de carga en captadores e intercambiador es un dato del fabricante. En los accesorios y válvulas (Codos, T, válvula de esfera y de retención), se dispone de tablas que proporcionan la longitud equivalente de cada accesorio, de forma que los convertimos en tuberías adicionales a las que realmente tiene el circuito hidráulico.

El objetivo final del diseño del sistema de captación es conseguir un circuito equilibrado, con objeto de que circule el mismo caudal por cada captador y el salto de temperaturas y el funcionamiento en régimen permanente sea similar.

La primera medida a adoptar es la disposición de las baterías y tuberías en entorno invertido. Hay tantos caminos hidráulicos posibles como baterías en paralelo tenga el circuito.

Para el circuito de nuestro circuito primario del campo solar se nos presentan 4 caminos diferentes:



Cada camino se considera desde el punto 1 (salida intercambiador) pasando por una de las baterías en serie hasta el punto 2 (entrada intercambiador).

En caso contrario, revisaremos el trazado de tuberías, disminuirémos el caudal de diseño y revisaremos el diámetro seleccionado en cada uno de los tramos.

De los resultados arrojados por el programa de pérdidas de cargas:

	Pérdidas (mm.c.a.)
Camino 1	1839
Camino 2	1669
Camino 3	1719
Camino 4	1687

Para verificar el equilibrio del circuito, se seleccionará al menos dos caminos representativos (uno central y otro extremo). La diferencia de pérdida de carga total entre dos caminos, no debe superar el 10% del valor medio de la pérdida de carga de todos los caminos considerados. En este caso se cumple la condición.

1.1.2.5.3. Cálculo del vaso de expansión

Se determina empleando la expresión:

$$V = 0,043 \times V_p \times F_p,$$

Donde:

V_p : volumen del circuito primario

Éste viene determinado por la suma de la cantidad de agua contenida en cada uno de los componentes del circuito:

- Captadores solares
- Intercambiador
- Tuberías

F_p (factor de presión) = $PM / (PM - P_m)$, siendo:

PM : presión máxima en el punto de conexión del vaso de expansión.

P_m : presión mínima en el punto de conexión del vaso de expansión ($1,5 \text{ kg/cm}^2$ + distancia desde el punto más alto del circuito al vaso de expansión).

Se emplearán los valores absolutos (valores relativos + 1 kg/cm^2) de PM y P_m .

$10 \text{ m.c.a.} = 1 \text{ kg/cm}^2$

1.1.2.5.4. Criterio de selección de las bombas de circulación

La pérdida de carga del circuito nunca disminuye, sino que aumenta con el paso del tiempo (obstrucciones, depósitos de cal, aplastamientos, ejecución distinta de lo diseñado, etc.).

Hay que considerarlo al seleccionar la bomba de circulación, de forma que sea capaz de vencer una pérdida de carga ligeramente superior para compensar este efecto.

Tanto por el circuito primario como secundario el caudal de circulación es de 2.010 l/h .

1.1.2.5.5. Dimensionado del Intercambiador de calor

Siguiendo las indicaciones del CTE-DB-HE-4, 3.3.4., se ha dimensionado el intercambiador de calor según la relación;

$$P \geq 500 \cdot A$$

$$P = 500 \times 80.4 \text{ m}^2 = 40.200 \text{ W}$$

1.1.2.6. Dimensionado del equipo auxiliar de ACS

Para el dimensionamiento de la caldera auxiliar, partiremos como datos de partida, de la demanda de energía calculada, que deberá ser cubierta en su totalidad por una caldera auxiliar.

$$\text{Demanda energética} = 89.140,35 \text{ kWh /año}$$

$$\text{Consumo diario} = 6.429 \text{ l/día}$$

Acumulador del sistema auxiliar

Todas las calderas de biomasa necesitan un acumulador si también van a suministrar ACS. La razón es que las calderas de biomasa no son calentadores instantáneos. La capacidad es importante, especialmente en verano: no interesa por motivos de eficiencia que la caldera arranque frecuentemente sólo para dar servicio de ACS. Óptimo es que durante los meses de verano, la caldera arranque una sola vez al día para cargar el acumulador.

Se dimensionará, con el criterio, de que deberá ser capaz de suministrar al menos entre el 25 - 50% del consumo diario. Suponiendo para nuestro caso un depósito de aproximadamente el 50%, el depósito será de 3.000 litros.

Energía a transferir por la caldera

El equipo auxiliar además de ser capaz de cubrir la demanda de ACS, en el caso de no haber agua proveniente de los captadores, también funcionará para elevar la temperatura entorno a los 50º, si proviene de la acumulación, y de 10º si proviene de la Red, a una temperatura superior a 60º, para combatir la legionela.

$$Q = m \times C_p (T_c - T_{red}).$$

Donde;

Q: Energía transferida.

m: masa de agua.

C_p: calor específico del agua (1 kcal/kg).

T_c: Temperatura que hay que alcanzar.

T_{red}: Temperatura de Red.

$$Q = 3.000 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal/kg} \times (70 - 10) = 180.000 \text{ kcal}$$

Energía útil

$$Q' = Q / \eta$$

Donde;

Q: energía transferida

η: Rendimiento de la caldera (se supondrá inicialmente 70%)

$$Q' = 180.000 / 0,7 = 257.142,86 \text{ Kcal}$$

Potencia de la caldera

$$P_{\max} = Q' / t$$

Donde;

P_{\max} : Potencia máxima de la caldera

t = tiempo necesario para calentar 3.000 l (se ha supuesto 4h)

$$P_{\max} = 257.142,86 \text{ Kcal} / 4 \text{ h} = 6.428.572 \text{ Kcal} / \text{h} = 74,64 \text{ kW}$$

1.1.2.7. Dimensionado del almacén de combustible sólido

Para determinar el volumen de acumulación, necesitamos conocer primero el consumo de combustible.

La caldera seleccionada puede quemar, tanto pellets, como astillas, dependiendo de la relación entre la energía generada y coste de cada combustible, se elegirá uno u otro. (Ver documento N° 7: Estudio de Viabilidad).

Cantidad de biomasa

$$CB = E / \eta \times PCI$$

Donde;

CB: cantidad de biomasa

E: Energía demandada de ACS (kWh/año)

η : Rendimiento de la caldera (es del 90%)

PCI: Poder calorífico Inferior del combustible (tiene en cuenta la humedad de éste)

PCI (Astilla de encina): 3.010 kcal/kg

PCI (Pellets): 4.214 kcal/kg

CB (pellets) = $(89.140,35 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 4214 \text{ Kcal/kg}) = 20.214 \text{ Kg/año}$

CB (astilla) = $(89.140,35 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 3010 \text{ Kcal/kg}) = 28.298 \text{ Kg/año}$

La caldera auxiliar sólo debe aporta un 30% de la demanda, por tanto;

CB (pellets) = 6.064,2 Kg/año

CB (astilla) = 8.489,4 Kg/año

Volumen de almacenamiento

$$V = m / \rho$$

Donde;

V: Volumen

m: masa

ρ : densidad

ρ (Astilla de encina): 600 kg/m³

ρ (Pellets): 700 kg/m³

V (pellets) = $(6.064,2 \text{ Kg/año}) / (700 \text{ kg/m}^3) = 8,66 \text{ m}^3$ repostando una vez al año

V (astilla) = $(8.489,4 \text{ Kg/año}) / (600 \text{ kg/m}^3) = 14,15 \text{ m}^3$ repostando una vez al año

1.1.3. Caldera de calefacción con biomasa

1.1.3.1. Dimensionado de la caldera de biomasa

Para el dimensionamiento de la caldera para calefacción, partiremos como datos de partida, de la demanda de energía calculada para calefacción, que deberá ser cubierta en su totalidad por la caldera de biomasa.

Valores obtenidos mediante el programa f-chart de Agua caliente para calefacción:

Energía demandada de calefacción = 49.852 kWh /año

$GD_{15} = 519$

Para obtener la potencia de la caldera aplicaremos la fórmula del método del grado día, usado por el propio programa.

$$E_{\text{útil}} = \frac{Q_{\text{edificio}} \cdot (24 \cdot GD_{15})}{T_{\text{nt}} - T_{\text{ext}}} \cdot C_u \cdot C_i$$

Donde;

$E_{\text{útil}}$ Energía calorífica útil demandada por el edificio (kWh/año)

Q_{edificio} Carga térmica total del edificio (kW)

GD_{15} Grados día anuales en base 15

T_{int} Temperatura interior de diseño (°C)

T_{ext} Temperatura exterior de diseño (°C) (T^0 mínima del lugar)

C_u Coeficiente de uso

C_i Coeficiente de intermitencia

Despejando de esta expresión la carga térmica total del edificio Q_{edificio} , sabremos la potencia que deberá suministrar la caldera para vencer dicha carga.

Los valores de los coeficientes de uso e intermitencia, se han obtenido del Manual de Aislamiento Térmico en la Edificación de Isover.

Tipo edificio	Días/mes calefactados	C _u	Horas/día calefactados	Porcentaje de horas	C _i
<i>Viviendas</i>	30	1,00	15	63 %	0,85
<i>Colegios</i>	22	0,80	6	25 %	0,45
<i>Iglesias</i>	6	0,40	6	25 %	0,45
<i>Comercios</i>	24	0,85	11	46 %	0,80
<i>Oficinas</i>	24	0,85	9	38 %	0,70
<i>Hoteles</i>	30	1,00	15	63 %	0,85
<i>Hospitales</i>	30	1,00	24	100 %	1,00
<i>Teatros</i>	30	1,00	3	13 %	0,40

Los valores de grados-día para distintas localidades españolas se pueden encontrar tabulados en numerosas publicaciones. Para las localidades andaluzas, ésta información se puede encontrar en el **Programa AMT-A**.

Puesto que los valores de GD₁₅ sólo están disponibles para algunas localidades, el método a seguir para calcular la demanda de energía para calefacción en cualquiera de las 177 localidades andaluzas incluidas en el Programa AMT-A se basa en la definición de severidades climáticas para todas las localidades, tomando las capitales de provincia como localidades de referencia. En el Manual del Programa se relaciona para cada una de las 177 localidades su valor de severidad climática así como la capital de provincia que le sirve de referencia.

$$Q_{\text{edificio}} = 49.852 \text{ kWh/año} \times (23 - (-5)) / (24 \times 519 \times 1 \times 1) = 112,06 \text{ kW}$$

1.1.3.2. Dimensionado del almacén de combustible

Para determinar el volumen de acumulación, necesitamos conocer primero el consumo de combustible.

La caldera seleccionada puede quemar, tanto pellets, como astillas, dependiendo de la relación entre la energía generada y coste de cada combustible, se elegirá uno u otro. (Ver documento N° 7: Estudio de Viabilidad).

Cantidad de biomasa

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$CB \text{ (pellets)} = (39.072 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 4214 \text{ Kcal/kg}) = 8.859,84 \text{ Kg/año}$$

$$CB \text{ (astilla)} = (39.072 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 3010 \text{ Kcal/kg}) = 12.403,81 \text{ Kg/año}$$

Volumen de almacenamiento

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$V \text{ (pellets)} = (8.859,84 \text{ Kg/año}) / (700 \text{ kg/m}^3) = 12,66 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año}$$

$$V \text{ (astilla)} = (12.406,81 \text{ Kg/año}) / (600 \text{ kg/m}^3) = 20,68 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año}$$

Como la caldera auxiliar de ACS y la de calefacción, van en la misma sala de calderas, el almacén se dimensionará para que pueda almacenar el combustible que se debe suministrar a ambas calderas.

El almacén proyectado tiene un volumen de unos 120 m³, por lo que es lo suficientemente grande para albergar toda la biomasa, para cualquiera de los dos casos.

CAPÍTULO 2: INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN DE LA PISCINA CUBIERTA + ACS PARA DUCHAS

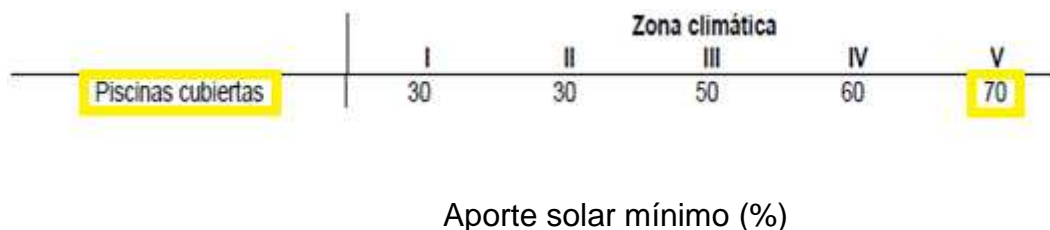
2.1. Campo solar + caldera de biomasa

2.1.1. Cálculo de demandas

2.1.1.1. Cálculo de la demanda para climatización de la piscina

2.1.1.1.1. Contribución solar mínima

Para determinar la contribución solar mínima con apoyo equipo auxiliar, primero nos hemos basado en la tabla 2.3 del CTE-DB-HE-4, punto 2.1., en la que se indica, para cada zona climática, la contribución solar mínima anual para el caso de la aplicación con climatización de piscinas cubiertas.



Por estar Sevilla en la zona V, la contribución solar mínima será del 70%.

La demanda térmica será la suma de las demandas de vaso y del ACS (en caso de que sea una aplicación mixta). Para el análisis de éste proyecto, hemos calculado la demanda de forma independiente usando una solución de cálculo para cada una.

La demanda térmica del vaso tratará de contrarrestar las pérdidas térmicas de evaporación, conducción a través de los cerramientos, radiación, etc. Dada la complejidad de su evaluación para su cálculo se usarán métodos de reconocido prestigio o las indicaciones de la DTIE 1.02. En cualquier caso el método escogido tendrá en cuenta las condiciones de funcionamiento, horarios y ocupación y será capaz de determinar las demandas, al menos, en base mensual.

La Agencia Andaluza de la Energía ofrece el programa PACSOL que puede descargarse gratuitamente de la página web: <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>.

Datos introducidos en el programa **Pacsol**:

- LOCALIDAD

La instalación está ubicada en Sevilla, cuya latitud es de 37,22° y su altitud de 49 m.

- COMPONENTES DEL SISTEMA SOLAR

El área total de captación es de 70,35 (m²), con 1 captadores en serie, inclinación con respecto a la horizontal de 45° y orientación con respecto al sur geográfico de 0°, positivo al oeste. Los parámetros de la curva característica del captador son $a_0 = 0.778$, $a_1 = 4,960$ (W/m² K) y $a_2 = 0,013$ (W/m² K²).

El fluido primario es etilenglicol 20%. El flujo másico vehiculado por la bomba del primario es de 4.900 (kg/h). La tubería de retorno, que conecta la sala de máquinas con los captadores tiene longitud de 35 m, diámetro de 0,20 m y coeficiente de pérdidas de calor de 0,30 (W/m² K). La tubería de impulsión, que conecta los captadores con la sala de máquinas tiene longitud de 35 m, diámetro de 0,20 m y coeficiente de pérdidas de calor de 0,30 (W/m² K).

La efectividad del intercambiador de calor sistema solar - vaso es del 65 %; la del sistema solar - acumulador solar es del 60 %.

- PISCINA

El volumen del vaso es de 150 m³, y experimenta una renovación diaria del 5 %. El aire del local se mantiene a una temperatura de 28 (°C), con humedad relativa del 70 %. El flujo másico vehiculado por la bomba del circuito de calentamiento del vaso es de 4.900 (kg/h).

El número diario de bañistas es de 80.

- PREPARACIÓN DE A.C.S.

No se ha considerado consumo de ACS en PACSOL, ya que jugar con las variables de la piscina y de las duchas a la vez, se hace bastante complejo el dimensionado.

PROYECTO FIN DE CARRERA

- SISTEMA DE CONTROL

El consumo preferente para la producción solar es el VASO. El sistema de apoyo del vaso asegura una temperatura del agua de 26 °C, mientras que el sistema solar trata de calentar al vaso dentro del rango de temperaturas de 26 °C a 28 °C. Las diferencias de temperatura que definen la banda de histéresis para el control del aporte solar al vaso son 2 °C y 5 °C.

La consigna para el agua caliente sanitaria es de 45 °C. La temperatura máxima que soporta el depósito es de 70 °C. Las diferencias de temperatura que definen la banda de histéresis para el control del aporte solar al acumulador solar son 2 °C y 5 °C.

Resultados PACSOL:

PRIMARIO	Radiación incidente sobre la superficie de captación	141424.84	kWh
	Energía ganada por el fluido primario a su paso por los captadores	79642.98	kWh
	Pérdidas en las tuberías de retorno del campo	393.59	kWh
	Pérdidas en las tuberías de impulsión del campo	485.76	kWh
	Energía solar cedida en el intercambiador del vaso	78736.25	kWh
	Energía solar cedida al intercambiador del acumulador	0.19	kWh
A.C.S.	Energía solar cedida al agua caliente sanitaria	0.00	kWh
	Pérdidas del acumulador	0.18	kWh
APOYO	Energía cedida por el equipo de apoyo del vaso	28394.52	kWh
	Energía cedida por el equipo de apoyo de A.C.S.	0.00	kWh

Intercambios térmicos totales.

RESUMEN	DEMANDA TÉRMICA DE :	TOTAL (kWh)	SISTEMA DE APOYO (kWh)	SISTEMA SOLAR (kWh)
	VASO	107130.78	28394.52	78736.25
	AGUA CALIENTE SANITARIA	0.00	0.00	0.00

Resumen demanda.

2.1.1.2. Cálculo de la demanda de ACS para duchas

2.1.1.2.1. Cálculo de la contribución solar mínima

La contribución solar mínima de ACS, para duchas, será la misma que se explica en el punto 1.1.1.1.1., de presente documento, es decir un 70%.

Los datos obtenidos de la demanda energética del edificio, que se muestran a continuación, se han obtenido a través de la fórmula siguiente, en la cual los datos de partida son:

- Datos correspondientes de la temperatura mensual del agua fría para Sevilla.
- Demanda media de 20 l/uso.

$$D_i(t_a) = Q_{MES} \times (T_a - T_f) \times 1/860$$

Donde;

T_f = temperatura de agua fría (°C)

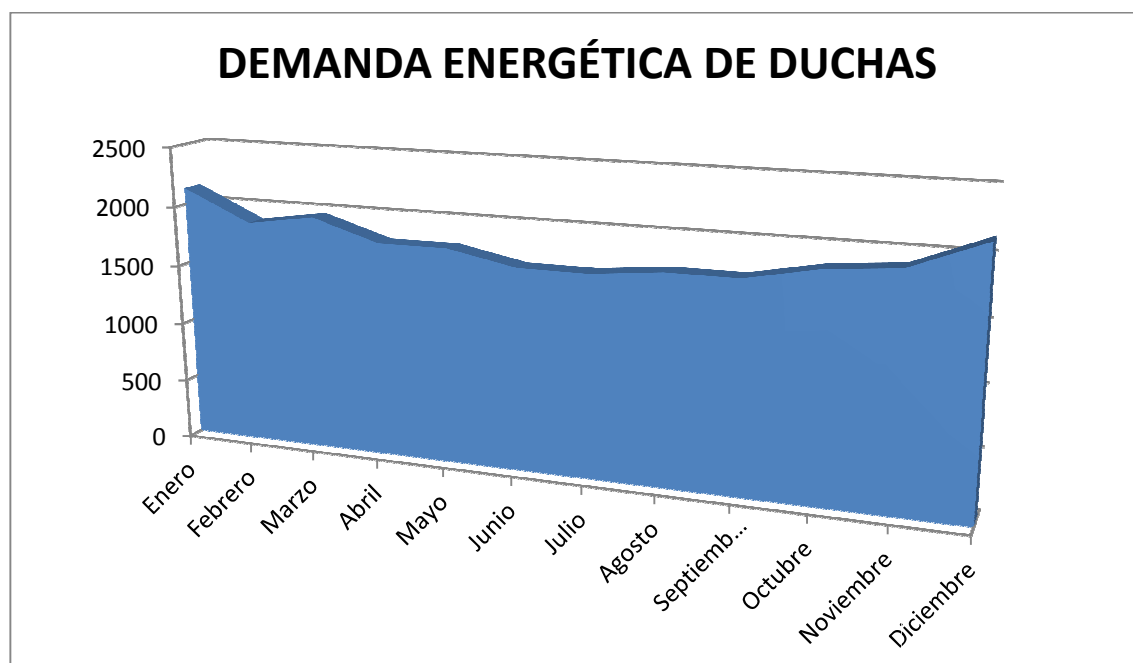
T_a = temperatura de acumulación (°C)

Q_{MES} = consumo mensual de agua caliente sanitaria en el edificio (l/mes)

$D_i(T_a)$ = energía útil requerida para la producción de A.C.S. (kWh/mes)

PROYECTO FIN DE CARRERA

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO	CONSUMO MENSUAL EDIFICIO	ΔT°	DEMANDA ENERGÉTICA
		Litros/día	Litros/mes	$^{\circ}\text{C}$	kWh/mes
Enero	31	20	49.600	37	2.133,95
Febrero	28	20	44.800	36	1.875,35
Marzo	31	20	49.600	34	1.960,93
Abril	30	20	48.000	32	1.786,05
Mayo	31	20	49.600	31	1.787,91
Junio	30	20	48.000	30	1.674,42
Julio	31	20	49.600	29	1.672,56
Agosto	31	20	49.600	30	1.730,23
Septiembre	30	20	48.000	31	1.730,23
Octubre	31	20	49.600	32	1.845,58
Noviembre	30	20	48.000	34	1.897,67
Diciembre	31	20	49.600	37	2.133,95
TOTAL(anual)					22.228,83



PROYECTO FIN DE CARRERA

Se deduce un consumo 1.600 litros ACS/día a 45 °C para todo el edificio, que en términos de energía (kWh/mes), 22.228,83 kWh/año.

Hemos considerado como fuente para la obtención de la temperatura de agua fría en Sevilla, la tabla nº 4 (temperatura media de agua de red general en °C) correspondiente al pliego del IDAE del 2009.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2	ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3	ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4	ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5	ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6	ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7	BADAJOS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8	BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9	BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10	BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11	CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12	CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13	CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14	CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15	CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16	CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17	CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18	LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19	CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20	GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21	GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22	GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23	GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24	HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25	HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27	LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28	LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29	LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30	MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31	MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32	MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33	MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34	NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35	ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36	PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37	LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38	PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39	LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40	SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41	STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42	SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43	SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44	SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45	TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46	TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47	TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48	VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49	VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50	VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51	ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52	ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Temperaturas medias de agua de Red (IDEA 2009).

2.1.2. Dimensionado del campo solar para ACS

2.1.2.1. Cálculo de la carga de consumo

Cálculo de la carga de consumo de la piscina

La carga de consumo para una piscina no se puede estimar, a diferencia de la carga de consumo de ACS. El único aspecto que se considera, en la simulación del programa PACSOL, es el agua de renovación de la piscina, debida a evaporaciones y salpicaduras, que se suele estimar en un 5% diario del volumen total del vaso.

Cálculo de la carga de consumo de las duchas

Es la carga de consumo media diaria mensual: M (l/día)

$$M = \text{Factor reductor (\%)} \times M.\text{max}$$

Según el criterio estimado de uso de las duchas la carga de consumo que se ha considerado es de 20 l/uso

$$M.\text{max} = 20 \text{ l/uso} \times 80 \text{ usos/día} = 1.600 \text{ l/día}$$

De la ocupación media mensual se obtiene un factor reductor del consumo diario máximo (M.max).

Dado que nuestra ocupación es del 100% para todo el año;

$$M = 1 \times 1.600/\text{día} = 1.600 \text{ l/día}$$

2.1.2.2. Área de captación

Área de captación de la piscina

Para cubrir la contribución solar mínima de la piscina, simulada con el programa PACSOL, el área de captación deberá ser de $70,35 \text{ m}^2$, que teniendo en cuenta que la superficie de captación del elegido es de unos $2,01 \text{ m}^2$, equivale a 35 captadores.

Área de captación de ACS

Se conoce que cada m^2 de captador calienta aproximadamente unos 80 litros de agua/día.

$$M/A = 80 \text{ l/m}^2 \text{ día}$$

Según especificaciones Técnicas a nivel autonómico de la Junta de Andalucía, se establece que;

$$60 \leq M/A \leq 100 \text{ lm}^2 / \text{día}$$

Conocido M, suponiendo una relación de 80.

$$A = 1.600/80 = 20 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que la superficie de captación del panel elegido es de unos 2 m^2 , nuestro campo solar tendrá 10 captadores.

En total, tendremos un campo solar de $90,45 \text{ m}^2$, es decir 45 captadores que sería la suma de Piscina y Duchas.

2.1.2.3. Volumen de acumulación

Acumulador para duchas

El volumen de acumulación se ha seleccionado cumpliendo con las especificaciones del RITE-ITE 10 en el punto 2 del apartado 1.3: Generalidades de la sección HE-4 DB-HE CTE.

$$0.8 < V/M < 1.2$$

Donde:

M: Consumo medio diario en los meses de verano, expresado en litros/día.

V: Volumen de acumulación expresado en litros.

$$50 < (V/A) < 180$$

Donde:

A: Suma de las áreas de los captadores.

V: Volumen de acumulación expresado en litros.

Suponemos 1.600 litros, que cumple con la condición;

$$0,80 < 1.600/1.600 < 1,2$$

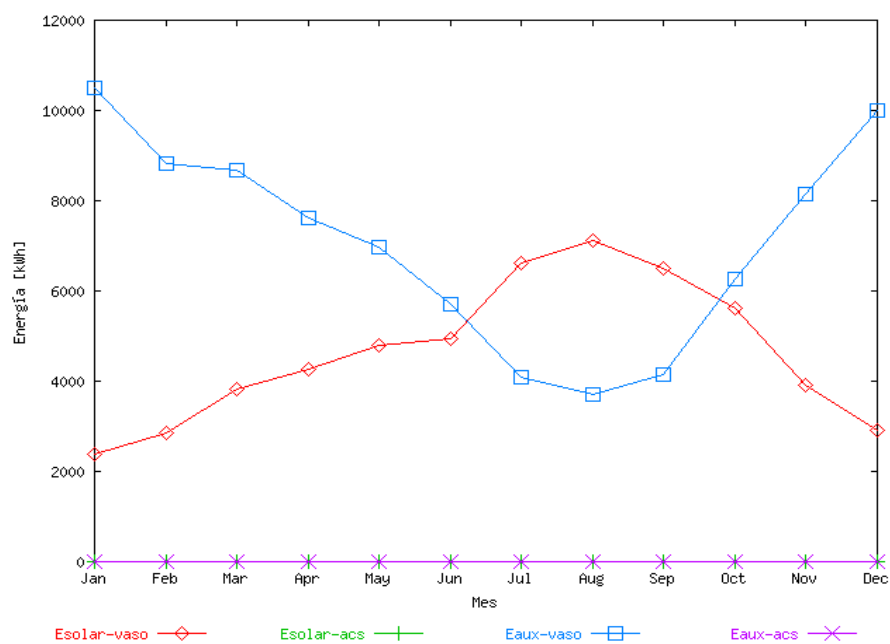
$$0,80 < 1 < 1,2 \quad \textbf{Cumple}$$

2.1.2.4. Cálculo de la cobertura solar

Piscina

El cálculo de la contribución solar del campo solar, se ha realizado con el programa de dimensionado de piscinas PACSOL, cuyos parámetros introducidos se describen en el punto 2.1.1.1., del presente documento.

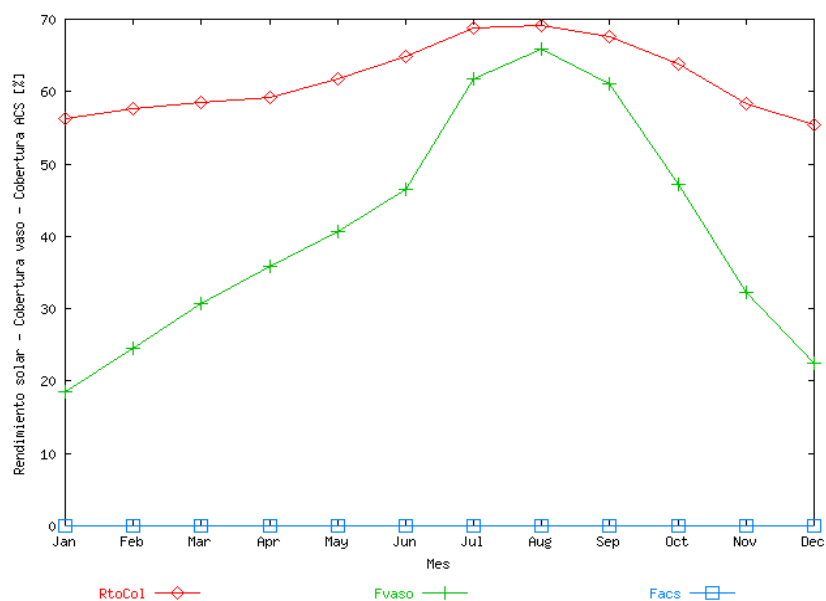
PROYECTO FIN DE CARRERA



Intercambios medios mensuales.

Rendimiento de captación (campo completo)	62.35	%
Cobertura solar de la demanda del vaso	39.69	%
Cobertura solar de la demanda de A.C.S.	0.00	%
Horas en las que la temperatura de los captadores supera los 110°C	0.00	horas

Prestaciones totales en período de simulación.



Prestaciones mensuales.

Duchas

Para el cálculo de la contribución solar necesario para las duchas, se ha usado el método F-chart, mediante el programa, facilitado por la agencia andaluza de la energía. (Ver punto 1.1.2.4., del presente documento).

Datos introducidos en el programa f-chart

- Datos de diseño

Provincia: Sevilla

Orientación: Sur

Inclinación: 45°

Nº de colectores: 10

Volumen de acumulación: 1.600 l

Tipo de sistema: Indirecto

Eficiencia del intercambiador: 80%

- Consumos

Nº máximo de usuarios: 80 usuarios

Litros agua caliente/usuario día: 20 litros

Ocupación: 100% todo el año

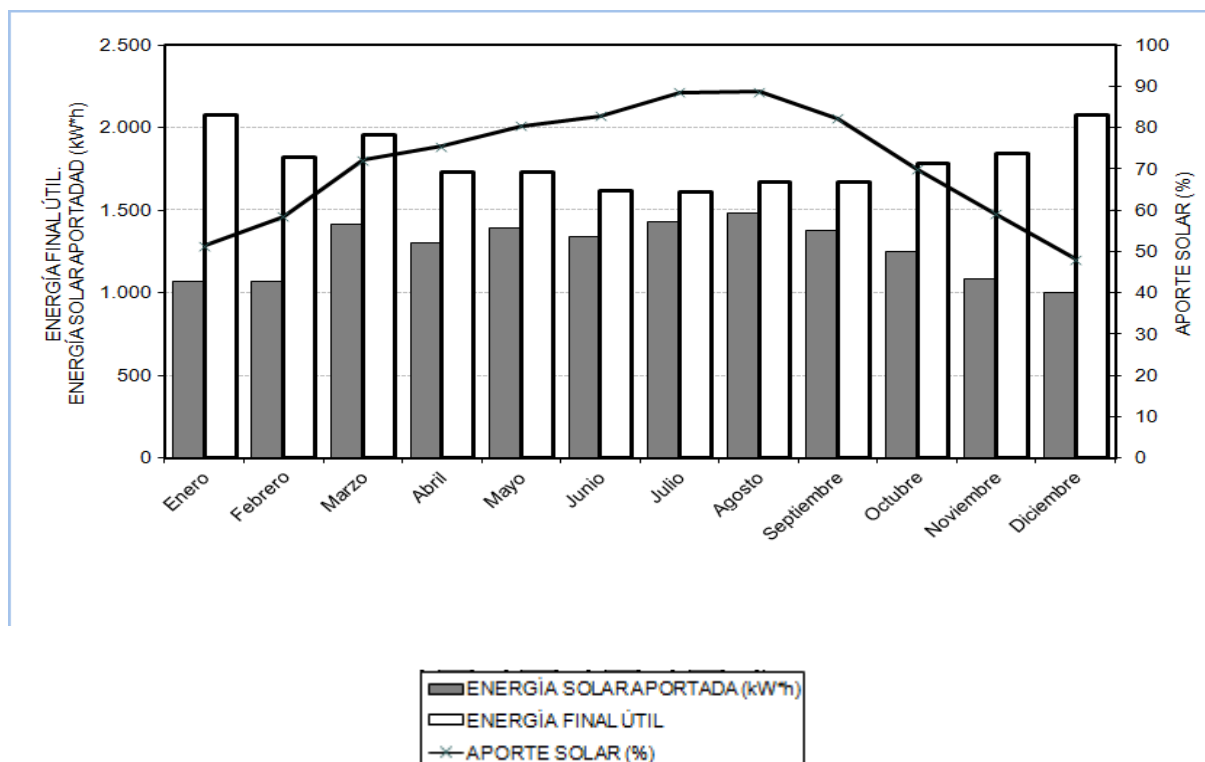
Resultados

La cobertura solar anual conseguida mediante el sistema es igual al 70,4 %. En este sentido sería válido para una zona como Sevilla, siempre y cuando el sistema auxiliar no sea eléctrico.

PROYECTO FIN DE CARRERA

	Ocupación (%)	Energía Final Útil (kW·h)	Energía Solar Aportada (kW·h)	Aporte solar (%)	Agua Caliente (m3/mes)
Enero	100	2.073	1.067	51,4	50
Febrero	100	1.821	1.065	58,5	45
Marzo	100	1.958	1.412	72,1	50
Abril	100	1.728	1.304	75,5	48
Mayo	100	1.728	1.389	80,4	50
Junio	100	1.616	1.338	82,8	48
Julio	100	1.613	1.427	88,5	50
Agosto	100	1.670	1.481	88,7	50
Septiembre	100	1.672	1.373	82,1	48
Octubre	100	1.785	1.247	69,8	50
Noviembre	100	1.839	1.087	59,1	48
Diciembre	100	2.073	998	48,1	50
TOTAL AÑO	100	21.576	15.187	70,4	584
Valor en MJ		77.674	54.673		

Como se observa en la columna de aporte solar, estamos por encima del 70%, de contribución solar mínima, cumpliendo con el CTE.



Además cumplimos con el punto **2.1.3 del CTE-DB-HE-4**, el cual dice que el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 % y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

2.1.2.5. Cálculo del circuito hidráulico

2.1.2.5.1. Cálculo del caudal de diseño

La normativa fija un intervalo que limita el caudal de diseño en (Qd);

$$42 \leq Qd \leq 72 \text{ l/hora m}^2$$

En el caso de que todos los captadores y baterías estén conectados en paralelo, el caudal del circuito primario se determinará: $QT = Qd \times \Delta T \text{ (m}^2\text{)}$.

En caso de conexionado en serie, el caudal de diseño se divide por número de captadores (o baterías de captadores) conectados en serie.

$$QT = Qd / 2 \times \Delta T$$

Para este caso se ha tomado un caudal de diseño alto de 70 l/h m², que suele ser un caudal utilizado para piscinas.

$$QT = Qd \times \Delta T = 70 \times 90 = 6.300 \text{ l/h}$$

2.1.2.5.2. Dimensionado de tuberías

La normativa vigente fija una pérdida de carga máxima de 40 mm.c.a. por metro de tubería.

La pérdida de carga en una tubería será función de:

- El caudal (l/h) que circula.
- El diámetro (mm) de la tubería.
- La longitud (m) de la tubería.

Por tanto, el primer paso consistirá en determinar el caudal que circula por cada tramo de tubería.

Una vez determinado el caudal que circula por cada tramo y empleando el ábaco de cálculo de pérdidas de carga, o en su caso el programa de pérdidas de carga, que la Agencia Andaluza de la Energía, herramienta que hemos usado para tal cometido.

Para determinar el caudal que circula por cada tramo, partimos del caudal que circula por cada batería, se ha seguido el mismo criterio que en el punto 1.1.2.5.2., del presente documento.

2.1.2.5.2.1. Cálculo de la pérdida de carga

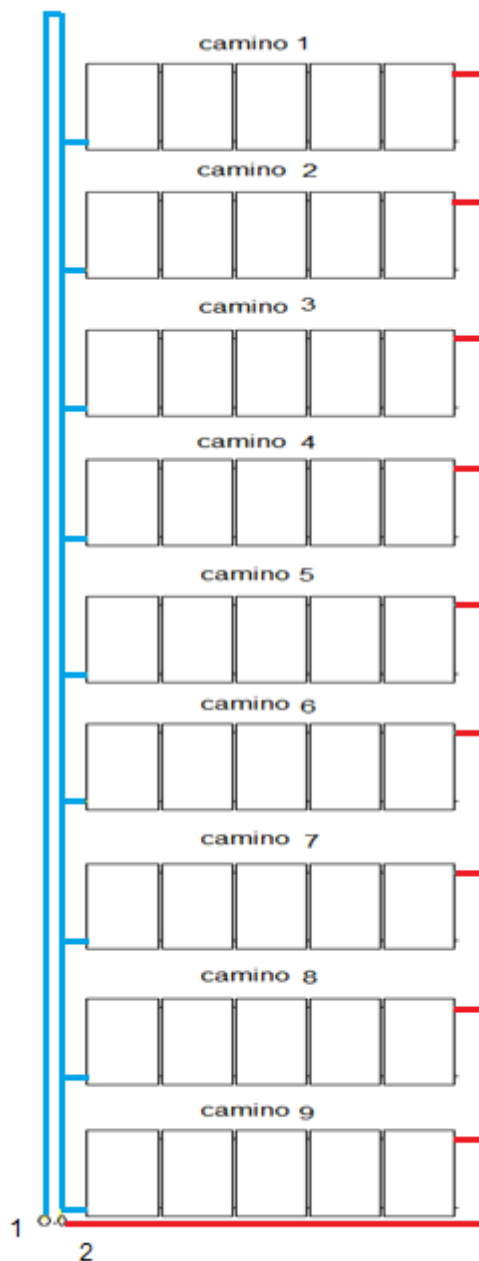
La pérdida de carga en captadores e intercambiador es un dato del fabricante. En los accesorios y válvulas (Codos, T, válvula de esfera y de retención), se dispone de tablas que proporcionan la longitud equivalente de cada accesorio, de forma que los convertimos en tuberías adicionales a las que realmente tiene el circuito hidráulico.

El objetivo final del diseño del sistema de captación es conseguir un circuito equilibrado, con objeto de que circule el mismo caudal por cada captador y el salto de temperaturas y el funcionamiento en régimen permanente sea similar.

La primera medida a adoptar es la disposición de las baterías y tuberías en entorno invertido. Hay tantos caminos hidráulicos posibles como baterías en paralelo tenga el circuito.

PROYECTO FIN DE CARRERA

Para el circuito de nuestro circuito primario del campo solar se nos presentan 9 caminos diferentes:



Cada camino se considera desde el punto 1 (salida intercambiador) pasando por una de las baterías en serie hasta el punto 2 (entrada intercambiador).

En caso contrario, revisaremos el trazado de tuberías, disminuirémos el caudal de diseño y revisaremos el diámetro seleccionado en cada uno de los tramos.

Para verificar el equilibrio del circuito, seleccionaremos al menos dos caminos representativos (uno central y otro extremo). La diferencia de pérdida de carga total entre dos caminos, no debe superar el 10% del valor medio de la pérdida de carga de todos los caminos considerados.

	Pérdidas (mm.c.a.)
Camino 1	3.691
Camino 5	3.600

En nuestro caso se cumple esta condición.

2.1.2.5.3. Cálculo del vaso de expansión

Se ha calculado según el procedimiento descrito en el punto 1.1.2.5.3., del presente documento.

2.1.2.5.4. Criterio selección de las bombas de circulación

La pérdida de carga del circuito nunca disminuye, sino que aumenta con el paso del tiempo (obstrucciones, depósitos de cal, aplastamientos, ejecución distinta de lo diseñado, etc.).

Hay que considerarlo al seleccionar la bomba de circulación, de forma que sea capaz de vencer una pérdida de carga ligeramente superior para compensar este efecto.

Tanto por el circuito primario como secundario el caudal de circulación es de 6.631 l/h.

2.1.2.5.5. Dimensionado del intercambiador de calor

Siguiendo las indicaciones del CTE-DB-HE-4, 3.3.4., se ha dimensionado el intercambiador de calor según la relación;

Intercambiador entre campo solar y piscina + duchas

$$P \geq 500 \cdot A$$

$$P = 500 \times 90 \text{ m}^2 = 45.000 \text{ W}$$

Intercambiador entre intercambiador piscina y caldera auxiliar piscina

P = Potencia caldera

$$P = 33 \text{ kW}$$

2.1.2.6. Dimensionado del equipo auxiliar de piscina y ACS

Para el dimensionado de la caldera para duchas y piscina se usó el programa comercial SEDICAL:

Datos introducidos en el programa para climatización de la piscina

Datos de la instalación

¿Es una piscina cubierta?:	Sí
Número de vasos:	1
Horas de funcionamiento diario:	18
Altura sobre el nivel del mar:	49 m

PROYECTO FIN DE CARRERA

Datos de Invierno

Temperatura del agua de red o inicial: **8,33 °C**

Temperatura media del aire exterior: **9,75 °C**

Humedad relativa Media del aire Exterior: **65%**

Nota: Datos obtenidos de la agencia andaluza de la energía para Sevilla.

Puesta en Marcha

Nº de horas de puesta en marcha **250**

Datos de Verano

Temperatura del aire exterior **25**

Humedad relativa del aire exterior **49 %**

Vaso nº 1

¿Tiene manta térmica? **Si**

Factor de forma vaso/cielo **10%**

Superficie del vaso **100 m²**

Ancho del vaso **5 m**

Volumen de agua del vaso **150 m³**

Temperatura final del agua del vaso **28°C**

Ocupación dentro del vaso **10 pers/m²h**

Datos del local

Nº de espectadores **10**

Temperatura del aire del local **29 °C**

Humedad relativa del local **65%**

Volumen del local **1.500 m³**

Datos de la instalación

Sistema de puesta en marcha

Local acondicionado

Sistema de deshumidificación

deshumidificadora+aire de renovaciónResultados:Aire exterior total de renovaciónAire exterior total de renovación: **910 m³/h**Suponiendo por cada espectador: **22 m³/h**Por cada bañista: **36 m³/h**

El aire total de impulsión debe oscilar entre 3 y 8 veces el volumen del local, en este caso entre 4.500 m³/h y 12.000m³/h.

Si esto no se realiza, habrá lugares donde se concentrará humedad.

Sistema de deshumidificación: deshumidificadora + aire de renovaciónCapacidad de deshumidificación: **20,26 kg/h**Sistema de puesta en marcha: local acondicionadoPotencia necesaria para calentar el agua de los vasos (puesta en marcha): **27,42 kW**Mantenimiento de la piscinaPotencia media diaria de mantenimiento: **19,26 kW**Potencia punta de mantenimiento en período de baño: **23,65 kW**

La potencia que deberá desarrollar la caldera de biomasa o gas, deberá ser superior a los 23,65 kW. Si es superior a 27,42 kW, las horas de puesta en marcha serán las supuestas inicialmente, en caso de ser inferior, habría que aumentar las horas de puesta en marcha.

Para obtener la demanda energética, basta multiplicar la potencia por las horas de funcionamiento de la piscina. Suponiendo que al menos esté 8 meses funcionando durante 18 horas diarias, la energía demanda anual será de 101.520 kWh/año.

Datos introducidos para el cálculo del ACS de las duchas

Temperaturas de cálculo del primario

Temperatura de entrada	85 °C
Temperatura de salida	70 °C

Temperaturas de cálculo de ACS

Temperatura de entrada	10 °C
Temperatura de utilización	45 °C
Temperatura de preparación	60 °C

Polideportivo

Número de usuarios	20
Tipo de polideportivo	normal
Número de duchas sin cabina y sin fluxómetro	
Número de duchas sin cabina y con fluxómetro	6
Número de duchas con cabina y sin fluxómetro	
Número de duchas con cabina y con fluxómetro	6

Resultados

		Preparación de la acumulación en			Sistema instantáneo
		20 minutos	60 minutos	120 minutos	
Consumo diario a 45.0 °C	l	1075.1	1075.1	1075.1	1075.1
Volumen de acumulación	l	54.7	118.8	183.1	0.0
Potencia neta caldera	kW	9.5	6.9	5.3	12.3
Nº horas de funcion. del quemador	h	6.7	9.0	11.4	5.8
Producción intercambiador	l/h	164.2	118.8	91.5	210.7
Caudal de la bomba de primario	m3/h	0.55	0.40	0.31	0.70
Caudal de la bomba de recirculación	m3/h	0.05	0.05	0.05	---
Caudal de la bomba de carga de ACS	m3/h	0.16	0.12	0.09	0.21
Caudal válvula mezcladora termostática	m3/h	0.30	0.30	0.30	0.30

Suponiendo un tiempo de 60 minutos de preparación de la acumulación, para el número de duchas supuesto, la potencia neta de la caldera será de 6.9 kW.

Acumulador del sistema auxiliar de las duchas

Todas las calderas de biomasa necesitan un acumulador si también van a suministrar ACS. La razón es que las calderas de biomasa no son calentadores instantáneos. La capacidad es importante, especialmente en verano, no interesa por motivos de eficiencia que la caldera arranque frecuentemente sólo para dar servicio de ACS. Óptimo es que durante los meses de verano, la caldera arranque una sola vez al día para cargar el acumulador.

Se dimensionará, con el criterio, de que deberá ser capaz de suministrar al menos entre el 25 - 50 % del consumo diario. Suponiendo para nuestro caso un 50%, el depósito será de 800 litros.

2.1.2.7. Dimensionado del almacén de combustible sólido

Para determinar el volumen de acumulación, necesitamos conocer primero el consumo de combustible, del equipo auxiliar

La caldera seleccionada puede quemar, tanto pellets, como astillas, dependiendo de la relación entre la energía generada y coste de cada combustible, se elegirá uno u otro. (Ver documento N° 7: Estudio de Viabilidad).

- PISCINA

Cantidad de biomasa

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$CB \text{ (pellets)} = (107.130 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 4214 \text{ Kcal/kg}) = 24.292,5 \text{ Kg/año}$$

$$CB \text{ (astilla)} = (107.130 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 3010 \text{ Kcal/kg}) = 34.009,5 \text{ Kg/año}$$

De esta cantidad el equipo auxiliar sólo deberá abastecer un 30 %, es decir:

$$7.287,7 \text{ Kg pellets/año}$$

$$10.202,85 \text{ Kg astilla/año}$$

Volumen de almacenamiento

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$V \text{ (pellets)} = (7.287,7 \text{ Kg/año}) / (700 \text{ kg/m}^3) = 10,41 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año}$$

$$V \text{ (astilla)} = (10.202,85 \text{ Kg/año}) / (600 \text{ kg/m}^3) = 17 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año}$$

- DUCHAS

Cantidad de biomasa

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$CB \text{ (pellets)} = (22.229 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 4214 \text{ Kcal/kg}) = 5.040,59 \text{ Kg/año}$$

$$CB \text{ (astilla)} = (22.229 \text{ kWh/año} \times 860) / (0,9 \times 3010 \text{ Kcal/kg}) = 7.056,83 \text{ Kg/año}$$

De esta cantidad el equipo auxiliar sólo deberá abastecer un 30 %, es decir:

$$1.512,18 \text{ Kg pellets/año}$$

$$2.117,05 \text{ Kg astilla/año}$$

Volumen de almacenamiento

Aplicando el mismo planteamiento que en el punto 1.1.7., del presente documento

$$V \text{ (pellets)} = (1.512,18 \text{ Kg/año}) / (700 \text{ kg/m}^3) = 2,16 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año.}$$

$$V \text{ (astilla)} = (2.117,05 \text{ Kg/año}) / (600 \text{ kg/m}^3) = 3,53 \text{ m}^3 \text{ repostando una vez al año.}$$

Como la caldera auxiliar de ACS y la de piscina, van en la misma sala de calderas, el almacén se dimensionará para que pueda almacenar el combustible que se debe suministrar a ambas calderas.

El almacén proyectado tiene un volumen de unos 120 m³, por lo que es lo suficientemente grande para albergar toda la biomasa, para cualquiera de los dos casos.