

ANEJO 1:

SUPERFICIES DE CAPTACIÓN Y CÁLCULO CIRCUITO PRIMARIO

ANEJO 1: SUPERFICIE CAPTACIÓN Y CÁLCULO CIRCUITO PRIMARIO

ANEJO 1:	1
SUPERFICIES DE CAPTACIÓN Y CÁLCULO CIRCUITO PRIMARIO.....	1
ANEJO 1: SUPERFICIE CAPTACIÓN Y CÁLCULO CIRCUITO PRIMARIO	3
1.1. Cálculo energía necesaria.....	5
1.2. Contribución solar mínima.....	6
1.3. Comprobación de pérdidas	6
1.3.1. Pérdidas por orientación e inclinación.....	6
1.3.2. Pérdidas por sombras	8
1.4. Cálculo energía incidente	8
1.5. Determinación de superficies de captación	10
1.5.1. Superficie captación para ACS.....	11
1.5.2. Superficie captación para calefacción	12
1.5.3. Superficie de captación piscina exterior	14
1.6. Cálculo circuito primario	16
1.6.1. Red hidráulica.....	16
1.6.2. Bomba de circulación	25
1.6.3. Vaso de expansión	25

1.1. Cálculo energía necesaria

Una vez hemos determinado el volumen de agua que consumirán los usuarios de la vivienda calcularemos la energía que los colectores solares nos tienen que aportar para conseguir aumentar la temperatura del agua de la red hasta la temperatura de servicio estipulada. Para este primer cálculo tenemos que encontrar el salto térmico que tendremos mediante la siguiente expresión:

$$\Delta T = T_{servicio} - T_{red} \quad (1)$$

Donde la temperatura de servicio nos viene indicada en la Ordenanza municipal de Mataró con un valor de 45 °C.

La temperatura de la red es la temperatura a la que llega el agua fría a la red de distribución. Al no disponer de los valores reales del agua de la red la "Ordenança sobre la incorporació de sistemes de captació d'energia solar per a la producció d'aigua calenta a edificis i construccions" nos remite a utilizar una temperatura fija de 10 °C.

Por lo tanto aplicando la ecuación anterior tenemos que el salto térmico será un valor constante de 35 °C.

Una vez conocido tanto el volumen de agua que queremos calentar como el salto térmico calcularemos la energía necesaria anual mediante la expresión que tenemos a continuación:

$$E = V \cdot \delta \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Dónde:

V es el volumen diario de consumo de la vivienda expresado en litros (l)

δ es la densidad del agua con un valor de 1 kg/l

C_p es el calor específico del agua con un valor de 4,187 kJ/kg·°C

ΔT es el incremento de temperatura entre la T° consumo y la T° red

Tabla 1. Demanda ACS y demanda energética mensual y anual

Mes	Días	T° Utilización (°C)	T° Red (°C)	ΔT (°C)	Litros/día	Demanda energética en KJ / mes
Enero	31	45	10	35	108	490.632,66
Febrero	28	45	10	35	108	443.152,08
Marzo	31	45	10	35	108	490.632,66
Abril	30	45	10	35	108	474.805,8
Mayo	31	45	10	35	108	490.632,66
Junio	30	45	10	35	108	474.805,8

Julio	31	45	10	35	108	490.632,66
Agosto	31	45	10	35	108	490.632,66
Septiembre	30	45	10	35	108	474.805,8
Octubre	31	45	10	35	108	490.632,66
Noviembre	30	45	10	35	108	474.805,8
Diciembre	31	45	10	35	108	490.632,66
						5.776.803,9 KJ/año

1.2. Contribución solar mínima

En el artículo 8 de la *"Ordenança sobre la incorporació de sistemes de captació d'energia solar per a la producció d'aigua calenta a edificis i construccions"* nos viene estipulado que la fracción en tanto por ciento de la demanda energética total anual, para agua caliente sanitaria, que debe cubrir la instalación de captadores solares de baja temperatura será del 60% del total necesario.

Por lo tanto fijándonos en la demanda energética de nuestra vivienda tendremos que suministrar un 60% de los 5.776.803,9 kJ/año, es decir, un total de 3.466.082,34 kJ/año o lo que es lo mismo unos 3466 MJ.

1.3. Comprobación de pérdidas

El CTE nos obliga a realizar sin excepciones este cálculo siguiendo el procedimiento que viene especificado en los apartados 3.5 y 3.6 cuyo valor total no puede exceder el 15% de pérdidas.

1.3.1. Pérdidas por orientación e inclinación

En el apartado 3.5 del CTE se indica el procedimiento de cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación, las cuales no podrán ser nunca superiores al 10%.

El CTE especifica:

Se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Demanda preferente en verano: la latitud geográfica – 10°.

Las pérdidas por orientación e inclinación se calcularán en función de los siguientes parámetros:

- Ángulo de inclinación β , definido como el ángulo que forma la superficie de los colectores respecto el plano horizontal. Este ángulo tendrá un valor de 0 cuando la posición sea totalmente horizontal y 90° cuando la posición de estos sea vertical.
- Ángulo de acimut α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del colector y el meridiano del

lugar. Valores típicos son 0° para colectores orientados al sur, -90° para los orientados al este y $+90^\circ$ para aquellos orientados hacia el oeste.

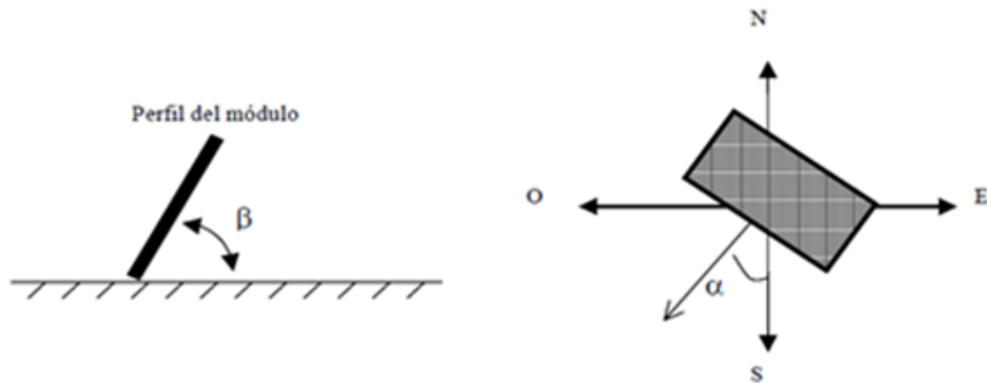


Figura 1. Orientación e inclinación de los colectores.

El método a seguir consiste en entrar en el siguiente gráfico circular con una línea radial según sea la orientación de los captadores (indicada en el exterior del gráfico circular) y con una línea concéntrica interior según sea la inclinación de los captadores (indicada dentro del gráfico). A continuación encontraremos el punto donde dichas líneas se corten y a partir de aquí encontraremos el rango que tendremos de pérdidas.

c) Ángulo de inclinación = 45°

d) Ángulo de acimut (Sur) = 0°

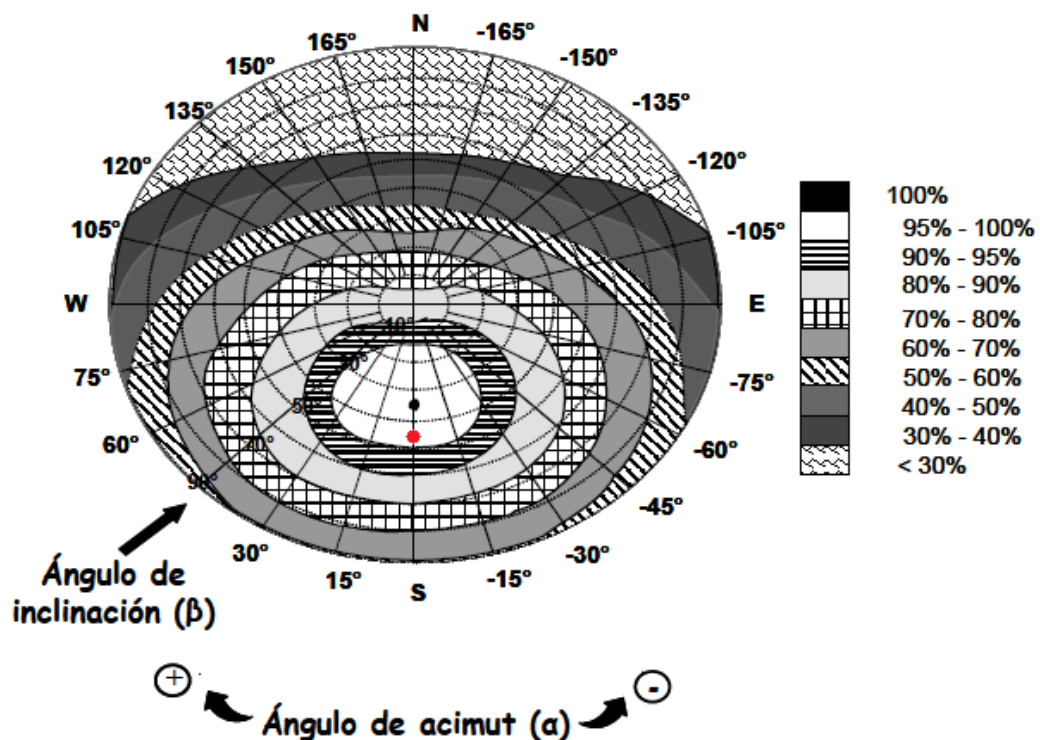


Figura 2. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

A partir de estos dos datos podemos determinar con exactitud que estaremos en un rango entre un 0% y un 5% de pérdidas. Intentando ser más meticulosos recurrimos a pequeño software que nos indica con mayor precisión las pérdidas reales en función del acimut y el ángulo de inclinación de los captadores.

PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN	
Inclinación de la placa	45°
Acimut de la placa	0°
Latitud	41°
Pérdidas	0,19%

1.3.2. Pérdidas por sombras

En el presente estudio de la vivienda tendremos en cuenta la no presencia de sombras que puedan influir negativamente en la recepción de la radiación solar por parte de los captadores.

1.4. Cálculo energía incidente

El primer paso será la determinación de radiación que recibirán los captadores en el plano horizontal. Los datos para cada mes vendrán determinados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Tabla 2. Radiación solar en el plano inclinado para diferentes poblaciones.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2 ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3 ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4 ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5 ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6 ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7 BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8 BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9 BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5

Al estar los captadores inclinados un cierto ángulo respecto a la superficie necesitamos conocer la energía incidente en el plano de captación.

Al tener suficientes datos sobre el emplazamiento de la instalación a considerar, aplicaremos diferentes factores correctores con la finalidad de dotar a los cálculos de mayor aproximación a la situación real.

Uno de los factores anteriormente comentados será el factor K, referido al ángulo de inclinación de los captadores, llamado ángulo β y que conoceremos mediante tablas dispuestas en función de la latitud del emplazamiento del cálculo y del ángulo.

Puesto que la latitud de los cálculos está referida a la provincia de Barcelona obtendremos una latitud de 41° y como hemos comentado anteriormente la inclinación β de los captadores será de 45° respecto a la horizontal.

Por lo tanto una vez conocidos los parámetros necesarios podemos dirigirnos a las tablas que nos proporciona el Instituto para la Diversificación y Ahorro para la Energía y conocer el valor de K para todos los meses del año.

Tabla 3. *Coeficiente de corrección para captadores inclinados con una latitud de 41° como la de nuestro proyecto.*

LATITUD = 41°

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	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
10	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	1,02	1,03	1,06	1,1	1,15	1,18	1,17
15	1,21	1,17	1,12	1,07	1,04	1,03	1,04	1,08	1,14	1,21	1,26	1,24
20	1,26	1,21	1,15	1,08	1,04	1,02	1,04	1,09	1,17	1,27	1,33	1,31
25	1,31	1,24	1,17	1,09	1,03	1,01	1,03	1,1	1,2	1,32	1,39	1,37
30	1,35	1,27	1,18	1,08	1,01	0,99	1,02	1,09	1,21	1,35	1,44	1,42
35	1,38	1,29	1,18	1,07	0,99	0,96	0,99	1,08	1,22	1,38	1,49	1,47
40	1,4	1,3	1,18	1,05	0,96	0,93	0,96	1,06	1,22	1,4	1,52	1,5
45	1,42	1,3	1,16	1,03	0,93	0,89	0,93	1,04	1,21	1,41	1,55	1,52
50	1,42	1,3	1,14	0,99	0,88	0,84	0,88	1,01	1,19	1,41	1,56	1,54
55	1,42	1,28	1,12	0,95	0,83	0,79	0,84	0,97	1,17	1,41	1,57	1,54
60	1,41	1,26	1,08	0,91	0,78	0,73	0,78	0,92	1,14	1,39	1,56	1,54
65	1,39	1,23	1,04	0,85	0,72	0,67	0,72	0,87	1,09	1,36	1,54	1,53
70	1,36	1,19	0,99	0,8	0,66	0,61	0,66	0,81	1,04	1,32	1,52	1,5
75	1,32	1,15	0,94	0,73	0,59	0,54	0,59	0,74	0,99	1,28	1,48	1,47
80	1,28	1,1	0,88	0,67	0,52	0,46	0,52	0,67	0,93	1,23	1,44	1,43
85	1,23	1,04	0,82	0,6	0,44	0,39	0,44	0,6	0,86	1,16	1,38	1,38
90	1,17	0,98	0,74	0,52	0,36	0,31	0,36	0,52	0,78	1,09	1,32	1,32

Como podemos observar para una inclinación de 45° tendremos los siguientes valores:

Tabla 4. *Coeficientes de corrección para nuestros captadores inclinados a 45°.*

K	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
	1,42	1,3	1,16	1,03	0,93	0,89	0,93	1,04	1,21	1,41	1,55	1,52

Otros factores a tener en cuenta a la hora del cálculo de energía disponible son los anteriormente calculados referidos a las pérdidas por sombras (FS) e inclinación (FI).

Como hemos calculado en los apartados 6.4.1. y 6.4.2. tanto las pérdidas por sombras como por inclinación son despreciables al no haber sombras posibles en el emplazamiento y al situar los colectores orientados hacia el sur y en un ángulo casi idéntico al ángulo de la latitud del lugar. De tal modo podemos determinar que tanto FS y FI tomarán un valor de 1.

Por último consideraremos el llamado factor de histéresis. Este factor que denominaremos FH hace referencia a la reducción de energía útil que se puede estimar en un 6% aproximadamente, por lo tanto podemos considerar un factor

de valor 0,94 que multiplicándolo por la radiación nos ofrecerá un valor mucho más real de la energía aprovechable o útil.

Finalmente, después de identificar y valorar todos los factores que hemos descrito en las líneas anteriores, ya podemos determinar la expresión que nos llevará a conocer la radiación de la que dispondremos en nuestros captadores:

$$RI = H \cdot K \cdot 0,94 \cdot FI \cdot FS \quad (3)$$

Por lo tanto podemos confeccionar una tabla para poder conocer de manera más ordenada la radiación anual de la que dispondrán los captadores que más tarde tendrán la responsabilidad de alimentar energéticamente nuestra instalación.

Tabla 5. Radiación disponible anual para nuestro proyecto.

Mes	Días	Radiación plano horizontal(MJ/m ²)	K	FH	FI	FS	Radiación plano inclinado (KJ/m ²)
Enero	31	6,50	1,42	0,94	1	1	268.962,20
Febrero	28	9,50	1,3	0,94	1	1	325.052,00
Marzo	31	12,90	1,16	0,94	1	1	436.050,96
Abril	30	16,10	1,03	0,94	1	1	467.640,60
Mayo	31	18,60	0,93	0,94	1	1	504.063,72
Junio	30	20,30	0,89	0,94	1	1	509.489,40
Julio	31	21,60	0,93	0,94	1	1	585.364,32
Agosto	31	18,10	1,04	0,94	1	1	548.531,36
Septiembre	30	14,60	1,21	0,94	1	1	498.181,20
Octubre	31	10,80	1,41	0,94	1	1	443.743,92
Noviembre	30	7,20	1,55	0,94	1	1	314.712,00
Diciembre	31	5,80	1,52	0,94	1	1	256.898,24
							5.158.689,92

1.5. Determinación de superficies de captación

Para poder proyectar una instalación solar hay elementos básicos que tendremos que diseñar para poder poner en funcionamiento un sistema de este tipo.

Como hemos analizado en la memoria escrita del proyecto, el elemento básico de este tipo de sistemas son los denominados captadores o colectores solares, cotidianamente conocidos como placas solares.

Para la cuantificación de cuantos captadores tendremos que colocar en nuestra instalación tenemos que tener presentes algunos parámetros que a continuación presentaremos.

- Demanda energética de la aplicación por parte de los usuarios
- Energía recibida por la superficie de captación instalada

- Contribución solar mínima exigida por nosotros al sistema
- Rendimiento de los captadores solares de la instalación

1.5.1. Superficie captación para ACS

En la realización de la memoria se ha estipulado que la superficie mínima para dotar al sistema de una aportación solar del 60% estaba estimada en aproximadamente 1,34 m².

La expresión para determinar la superficie vendrá condicionada por la contribución solar mínima que nos viene proporcionada por la "*Ordenança sobre la incorporació de sistemes de captació d'energia solar per a la producció d'aigua calenta a edificis i construccions*" de Mataró y que condiciona que la contribución solar mínima para cualquier instalación situada en dicha localidad sea del 60%.

$$S_c = \frac{\text{Contribución solar mínima (\%)} \cdot \text{Necesidades energeticas anuales (kJ)}}{\text{Rendimiento medio anual (\%)} \cdot \text{Radiación solar disponible (kJ)}} \quad (4)$$

Otros valores a tener presentes serán las necesidades energéticas anuales y la energía incidente en nuestros captadores.

Las necesidades energéticas anuales las hemos determinado en un valor de 5.776.803,9 kJ.

Por otro lado tenemos la energía incidente sobre los captadores determinada en 5.185.689,92 kJ.

Por último el rendimiento medio anual de los captadores que tomará un valor igual o superior al 20%. En nuestro caso será del 50%.

Finalmente, y después de haber enumerado los parámetros necesarios y sus correspondientes valores podemos calcular la superficie de captación que necesitaremos para la instalación referida al agua caliente sanitaria.

$$S_c = \frac{0,6 \cdot 5.776.803,9}{0,5 \cdot 5.185.689,92} = 1,34 m^2$$

Por lo tanto y como hemos indicado en la memoria con la utilización de un captador Vitosol 300 F SV3 podremos cubrir las necesidades exigidas por las normativas a las cuales está sujeto el proyecto presente.



Figura 3. Vitosol 300 F SV3.

Tabla 6. Características de los captadores solares Vitosol 300 F SV3.

Datos técnicos

Modelo		SV3	SH3
Superficie bruta* ¹	m ²	2,51	2,51
Superficie de absorción	m ²	2,32	2,32
Superficie de apertura* ²	m ²	2,33	2,33
Dimensiones			
Anchura	mm	1056	2380
Altura	mm	2380	1056
Profundidad	mm	90	90
Rendimiento óptico* ³	%	84	84
Coefficiente de pérdida de calor k_1 * ³	W/(m ² · K)	3,86	3,86
Coefficiente de pérdida de calor k_2 * ³	W/(m ² · K ²)	0,0139	0,0139
Capacidad térmica	kJ/(m ² · K)	6,4	6,4
Peso	kg	52	52
Volumen de fluido (medio portador de calor)	litros	1,83	2,48
Presión de servicio adm.* ⁴	bar	6	6
Temperatura máx. de inactividad* ⁵	°C	221	221
Conexión	Ø en mm	22	22
Requisitos del soporte y de los anclajes		La cubierta debe soportar la fuerza del viento	

1.5.2. Superficie captación para calefacción

Para el cálculo de la demanda de calefacción se ha utilizado el método de los grados-día.

Dicho método consiste en la determinación media de las diferencias que se tendrán a lo largo de un día entre la temperatura de diseño fijada al iniciar el proyecto (21 °C) y la temperatura exterior de la vivienda que tenemos en las diferentes horas del día.

Para el cálculo de la demanda según este método necesitaremos estimar una temperatura base para poder hacer la comparación adecuada con la temperatura exterior. Habitualmente para los cálculos de calefacción se utilizan en función de una temperatura base igual a 15 °C, como es nuestro caso, o bien una temperatura base de 18 °C.

Tabla 7. Tabla grados día con temperatura base 15-15 (UNE24026).

POBLACIÓN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Octubre	Novbre.	Dicbre.	5 meses (1)	Año
Albacete	322,4	246,4	198,4	105,0	—	24,8	189,0	291,4	1.247,6	1.377,4
Algeciras	80,6	67,2	37,2	—	—	—	—	52,7	237,7	237,7
Alicante	117,8	84,0	52,7	—	—	—	—	83,7	338,2	338,2
Almería	74,4	56,0	21,7	—	—	—	—	55,8	207,9	207,9
Ávila	390,6	330,4	300,7	219,0	93,0	142,6	282,0	268,9	1.672,6	2.127,2
Badajoz	213,9	151,2	99,2	18,0	—	—	96,0	189,1	749,4	767,4
Barcelona	204,6	131,6	96,1	33,0	—	—	54,0	136,4	622,7	655,7
Bilbao	198,4	162,4	136,4	84,0	—	—	93,0	145,7	735,9	819,9
Burgos	384,4	319,2	282,1	210,0	89,9	133,3	273,0	356,5	1.615,2	2.048,4
Cáceres	254,2	184,8	145,7	57,0	—	—	132,0	229,4	946,1	1.003,1
Cádiz	89,9	47,5	24,8	—	—	—	—	65,1	227,4	227,4
Cartagena (M)	133,3	92,4	58,9	—	—	—	15,0	111,6	411,2	411,2
Castellón	139,5	106,4	68,2	9,0	—	—	27,0	102,3	443,4	452,4
C. Real	310,0	238,0	189,1	99,0	—	12,4	182,0	282,1	1.201,2	1.312,6
Córdoba	198,4	126,0	80,6	9,0	—	—	72,0	176,7	653,7	662,7
Cuenca	365,8	298,2	251,1	177,0	37,2	93,0	243,0	362,7	1.520,8	1.828,0
Gerona	238,7	176,4	133,3	66,0	—	—	111,0	213,9	873,3	939,3
Gijón (Oviedo)	167,4	162,4	145,7	108,0	46,5	—	87,0	151,9	714,4	868,9
Granada	257,3	196,0	155,0	69,0	—	—	132,0	232,5	972,8	1.041,8
Guadalajara	319,3	249,2	207,7	132,0	—	49,6	207,0	303,8	1.287,0	1.468,6

Como podemos observar en la tabla que tenemos a continuación extraída del programa de cálculo para la determinación de la superficie de captación del CETIB la superficie equivalente a asegurar mes a mes una aportación mínima del 40% a la demanda de calefacción será de 11,50 m² o lo que es lo mismo la instalación de 5 captadores solares Vitosol 300F SV3 con una superficie útil cada uno de 2,30 m².

Tabla 8. Valores obtenidos de la cobertura solar de calefacción proporcionados por el software del CETIB sobre instalaciones solares.

	Demanda térm. media diaria	Rend. cap.	Superficie	Cobertura (%)
Enero	49,03 kWh/día	0,554	11,50 m ²	41,30
Febrero	40,71 kWh/día	0,594	11,50 m ²	62,93
Marzo	24,84 kWh/día	0,628	11,50 m ²	100,00
Abril	16,67 kWh/día	0,619	11,50 m ²	100,00
Mayo	0,65 kWh/día	0,608	11,50 m ²	100,00
Junio	0,00 kWh/día	0,648	11,50 m ²	-
Julio	0,00 kWh/día	0,668	11,50 m ²	-
Agosto	0,00 kWh/día	0,666	11,50 m ²	-
Setiembre	0,00 kWh/día	0,643	11,50 m ²	-
Octubre	1,61 kWh/día	0,622	11,50 m ²	100,00
Noviembre	18,67 kWh/día	0,619	11,50 m ²	100,00
Diciembre	37,74 kWh/día	0,572	11,50 m ²	52,57
Total	5,77 MWh	Cobertura media (%)		67,34

1.5.3. Superficie de captación piscina exterior

El objetivo de este tipo de instalaciones es lograr que la temperatura de utilización de las piscinas sea una temperatura más agradable para los usuarios, generalmente estimada entre los 24 °C y los 26 °C además de alargar la temporada de baño. Con esto lo que queremos decir es que, gracias a la incorporación de este tipo de sistemas, se pretende conseguir que la temperatura del agua se mantenga en el rango anteriormente mencionado durante más tiempo, es decir, en meses como por ejemplo Abril o Octubre donde las temperaturas ambientales disminuyen considerablemente en comparación con las temperaturas estivales poder mantener la temperatura del agua en condiciones adecuadas para los usuarios.

El cálculo de las necesidades energéticas de las piscinas exteriores vendrá determinado por la expresión que tenemos a continuación:

$$P(kW) = \frac{(28 + 20 * v) * (t_{WS} - t_{BS}) * S_W}{1000} \quad (5)$$

Donde:

t_{WS} , será la temperatura del agua de la piscina que deseamos mantener (°C).

t_{BS} , será la temperatura del aire (°C).

v , será la velocidad del viento (m/s).

S_W , será la superficie de la piscina (m²).

Esta expresión contempla todas las pérdidas que se producirán en una piscina exterior. Las pérdidas que se tendrán en cuenta serán las siguientes:

- Pérdidas por evaporación del agua.
- Pérdidas por radiación del agua hacia la atmosfera.
- Pérdidas por convección influidas por el viento.
- Pérdidas por conducción producida por las paredes de la piscina.
- Pérdidas por arrastre y salpicaduras del agua.

Los datos de partidas que utilizaremos para el diseño de la superficie de captación serán los mostrados a continuación:

- Superficie de la piscina de 30 metros cuadrados.
- Volumen 45 metro cubicos.
- 80 % tiempo con manta térmica.
- Temperatura del agua 24 °C.
- Temperatura ambiente de 27 °C.

Como hemos puntualizado en la memoria escrita la utilización de una manta térmica colocada sobre la superficie de la piscina contribuirá a producir un gran ahorro en la utilización de la instalación.

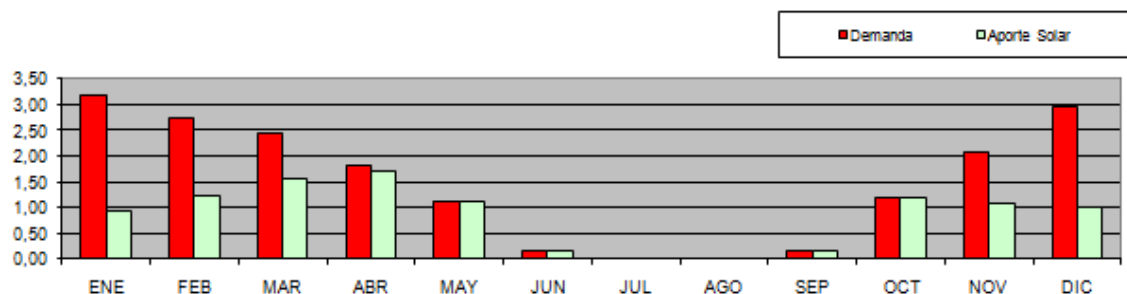
Analizando que superficie de captación nos podría venir bien para alargar la temporada de baño sin sobredimensionar la instalación podemos comprobar que con la instalación de dos captadores solares conseguiríamos alargar la temporada de baño de Abril hasta Octubre.

Hablamos de posibles sobredimensionamientos de este tipo de instalaciones ya que aumentando la superficie de captación se podrían conseguir temperaturas confortables en meses más fríos, pero al ser una piscina exterior, por caliente que este el agua la temperatura ambiente haría inviable la utilización de la piscina.

Utilizando dos paneles Vitosol 300 F SV3 para homogeneizar la instalación y que no tengamos problemas de incompatibilidad entre captadores obtendremos los siguientes resultados.

Tabla 9. Valores obtenidos de la cobertura solar para la piscina exterior.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura Uso		24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Radiación a 45°	MJ/m ² -día	11,32	15,68	17,10	18,46	18,70	18,69	18,87	17,97	17,40	14,33	11,98	11,60
Demanda	GJ/mes	3,19	2,74	2,44	1,81	1,11	0,16	0,00	0,00	0,17	1,19	2,09	2,97
Aporte Solar	GJ/mes	0,92	1,23	1,56	1,71	1,11	0,16	0,00	0,00	0,17	1,19	1,07	1,01
Contribución Solar	MJ/mes	29,01	44,95	64,10	94,78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	51,23	33,94



1.6. Cálculo circuito primario

Como acabamos de determinar anteriormente, la superficie necesaria para satisfacer las demandas previstas y proporcionar al sistema de la cobertura solar mínima exigida por normativa y por nosotros mismos, será de 8 captadores solares Vitosol 300 F SV3 de Viessmann conectados en paralelo como se muestra en el esquema que tenemos a continuación.

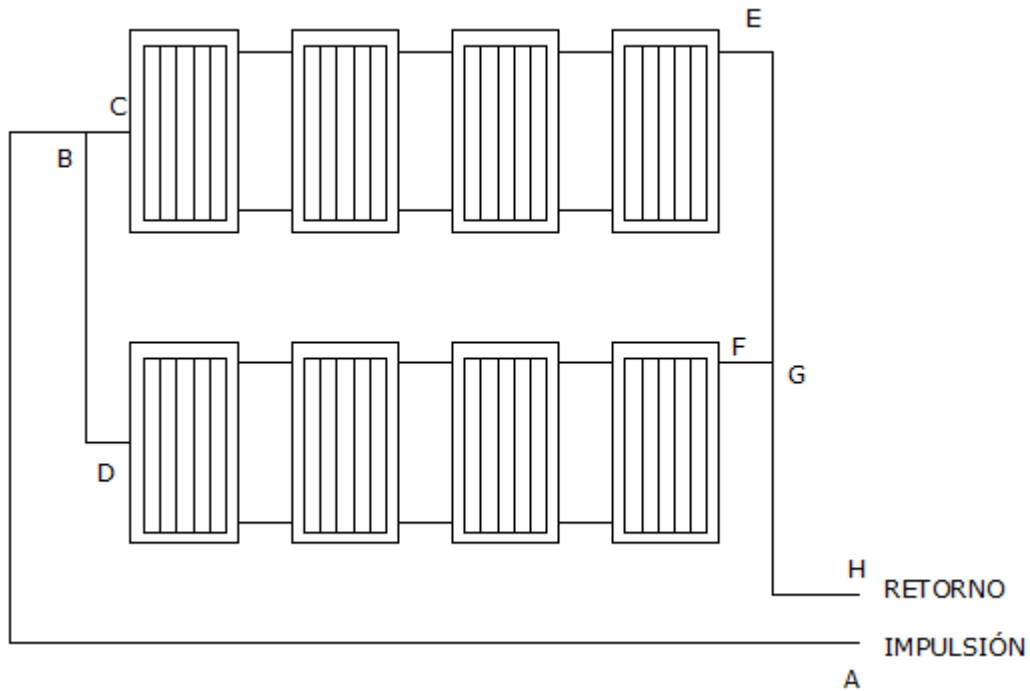


Figura 4. Esquema simplificado instalación solar vivienda.

1.6.1. Red hidráulica

Los captadores de la casa Viessmann Vitosol 300F SV3 están diseñados para trabajar, según las especificaciones proporcionadas por la misma casa, con un caudal específico de $40 \text{ l} / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

$$\dot{V}_p = \dot{V}_{\text{captadores}} * S_{\text{captación}} * N \quad (6)$$

Sabiendo que dispondremos de 8 captadores con una superficie útil de $2,30 \text{ m}^2$ cada uno y que como hemos indicado anteriormente el caudal específico será de $40 \text{ l} / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ podremos determinar mediante la expresión anterior el volumen total de fluido que circulará por el circuito primario de nuestra instalación solar.

$$\dot{V}_p = 40 * 2,30 * 8 = 736 \text{ l/h} \quad (7)$$

Para la determinación de la velocidad del fluido necesitaremos conocer el diámetro de tubería, la empresa que nos proporciona los captadores nos aconseja utilizar tubería de cobre de 22 mm. de diámetro exterior con un

espesor de 1mm., por lo que a efectos de cálculo trabajaremos con un diámetro de 20 mm.

Para el cálculo de la velocidad del fluido en el circuito primario utilizaremos la siguiente expresión:

$$c = 0,354 * \frac{V}{D^2} = 0,354 * \frac{736}{20^2} = 0,65 \text{ m/s} \quad (8)$$

Como podemos observar la velocidad obtenida está dentro de los límites marcados por el CTE y además dentro del rango de velocidad aconsejable (entre 0,4 y 1 m/s) para evitar ruido en las tuberías. Por lo tanto consideraremos que la velocidad del fluido calculada será correcta para el buen funcionamiento de la instalación.

Una vez determinado el caudal y la velocidad a la cual circulará el fluido tenemos que calcular la pérdida de carga del circuito para el dimensionamiento posterior de la bomba de circulación.

La pérdida de carga de un circuito se compone por dos tipos diferentes de pérdidas, las que llamaremos primarias, producidas por rozamiento del fluido circulante a través de los conductos que lo transportar y las pérdidas secundarias provocadas por los elementos que tendremos en el sistema como pueden ser válvulas o cambios de dirección en las tuberías.

A continuación se muestra el gráfico necesario para el cálculo de las pérdidas de carga en función del caudal circulante y la velocidad a la cual circula el fluido en el interior de la tubería.

Otra opción es la aplicación de la fórmula que se muestra a continuación donde, conociendo el diámetro y el caudal podremos establecer las pérdidas primarias del circuito.

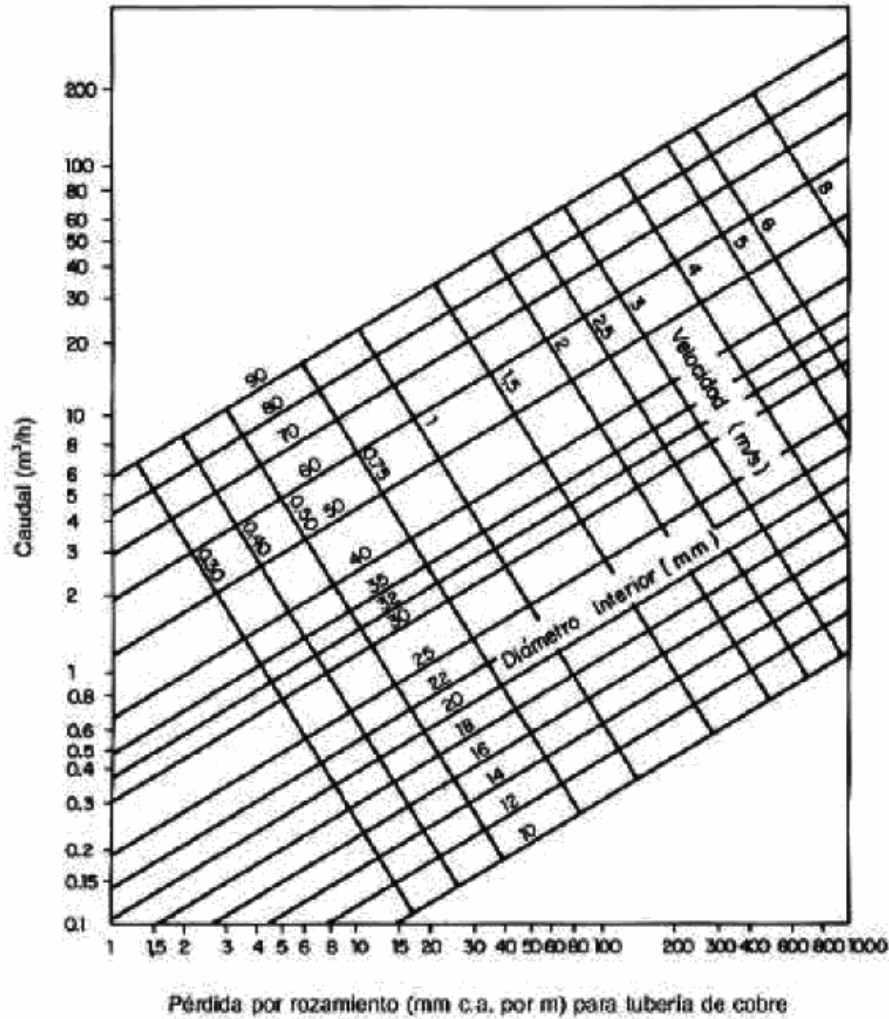


Figura 5. Abaco para el cálculo de pérdidas de carga.

La ecuación para el cálculo de las pérdidas primarias utilizada será la que tenemos a continuación una vez conocido el caudal de la instalación y el diámetro de la tubería.

$$H_{r1} = 378 * \frac{V^{1,75}}{D^{4,75}} = 378 * \frac{736^{1,75}}{20^{4,75}} = 25,98 \text{ mm.c.a./m} \quad (9)$$

Dicho valor tendrá que ser corregido ya que el fluido circulante por el circuito primario es una mezcla de agua y anticongelante, en nuestro caso y como nos indica el fabricante el anticongelante utilizado será propilenglicol en un porcentaje del 35%.

Por lo tanto no sería del todo correcto utilizar la viscosidad del agua como la viscosidad del fluido circulante debido a que al mezclar el agua con anticongelante el fluido resultante tendrá una viscosidad mayor.

Para no cometer dicho error se utilizará un factor de corrección que se determinará en función de la viscosidad del agua y la viscosidad de la mezcla resultante de mezclar el anticongelante y el agua.

La expresión que nos facilitará el conocimiento de dicho factor está expresada a continuación, habiendo obtenido bibliográficamente los valores para la viscosidad

del agua en las condiciones de trabajo y la viscosidad de la mezcla en función del porcentaje del propilenglicol utilizado:

$$F_c = \left(\frac{\mu_{mezcla}}{\mu_{agua}} \right)^{1/4} = \left(\frac{1,8}{0,55} \right)^{1/4} = 1,345 \quad (10)$$

Una vez obtenido el factor de corrección se multiplicará por la pérdida unitaria de cada tramo obteniéndose de esta manera la pérdida de carga final expresada en mm.c.a./m. Recordemos que la pérdida de carga final de cada tramo no podrá superar los 40 mm.c.a./m., en el caso de que sí los superase deberíamos modificar el diámetro del tramo para reducir las pérdidas hasta que estén dentro del rango adecuado de trabajo.

Por lo tanto y conociendo la pérdida de carga unitaria parcial, la longitud de todos los tramos que componen la instalación y el factor de corrección ya podemos determinar la pérdida final para cada tramo de la instalación.

Como ejemplo calcularemos dicha pérdida final para el cálculo del tramo A-B, el proceso para los demás tramos será el mismo y siempre utilizando el mismo factor de corrección ya que la mezcla a lo largo del circuito no variará.

$$H_{rA-B} = H_{rA-B,unitaria} * F_c = 25,98 * 1,345 = 34,94 \text{ mm.c.a.} \quad (11)$$

El valor obtenido es inferior a los 40 mm.c.a./m. a los que nos referíamos con anterioridad, por lo tanto podemos decir que el dimensionamiento del diámetro es correcto.

Una vez obtenida la carga unitaria con la que trabajaremos simplemente tendremos que multiplicarla por la longitud del tramo correspondiente para conseguir así los valores de las pérdidas primarias totales de cada tramo.

Posteriormente pasaremos al cálculo de las pérdidas secundarias de cada tramo. La estimación de estas pérdidas se realizará mediante el cálculo de la longitud equivalente de los componentes de la instalación que nos dificulten la circulación del fluido a través de las tuberías.

Cuando hablamos de componentes que dificultan la circulación del fluido a través de las tuberías nos estamos refiriendo a los codos, curvas, válvulas y demás elementos que nos permitan llevar el fluido de un punto inicial a un punto final a través del camino más corto.

La longitud equivalente es simplemente la estimación de la longitud de tubería recta, con el mismo diámetro, que provocaría la misma pérdida que el elemento estudiado.

Para el cálculo de las pérdidas secundarias de los tramos utilizaremos la tabla que tenemos a continuación y que nos relaciona los diferentes elementos que podemos encontrar en la instalación, en función del diámetro exterior utilizado, con la longitud equivalente que les correspondería en cada caso. Por lo tanto simplemente tendremos que valorar los todos los elementos instalados por tramos y sumar sus diferentes longitudes equivalentes para encontrar la longitud total de todos ellos y calcular así la pérdidas de carga secundaria del tramo, que sumada a las pérdidas primarias nos dará como resultado la pérdida total que la bomba instalada tendrá que vencer.

Taula 10. *Tabla longitudes equivalente de los elementos del circuito en función del diámetro seleccionado*

TABLA DE PERDIDA EN ACCESORIOS longitud equivalente en metros				
Diametro	Válv. Retención	Codos	T 90°	Válv. Esfera
12	1,200	0,370	0,530	0,150
15	1,500	0,420	0,600	0,180
18	1,800	0,480	0,670	0,210
22	2,400	0,610	0,900	0,270
28	3,600	0,790	1,100	0,300
35	4,200	1,000	1,520	0,460
42	4,800	1,200	1,750	0,540
54	6,100	1,500	2,200	0,700
63	7,600	1,800	2,650	0,850
80	9,100	2,300	3,350	0,980
100	10,700	2,700	3,900	1,200

Tabla 11. *Tabla de los tramos del circuito primario y pérdidas de carga primarias del sistema.*

TRAMO	LONGITUD TRAMO (m)	Nº CAPTADORES	CAUDAL (l/h)	Ø ext. (mm)	Ø int. (mm.)	Velocidad (m/s)	Pérdida carga por metro lineal (mm.c.a/m)	Pérdida carga total (mm.c.a/m)
A – B	20	8	736	22	20	0,65	34,94	698,8
B – C	2	4	368	18	16	0,66	29,98	59,96
B – D	2	4	368	18	16	0,50	29,98	59,96
E- G	3	4	368	18	16	0,66	29,98	89,94
F – G	0,5	4	368	18	16	0,66	29,98	119,92
G - H	18	8	736	22	20	0,65	34,94	628,92

Tabla 12. *Tabla de los tramos del circuito primario y pérdidas de carga primarias y secundarias del sistema.*

TRAMO	Pérdida carga por metro lineal (mm.c.a/m)	Válvulas de retención	Codos	T a 90°	Válvulas de esfera	Longitud equivalente (m)	Pérdida carga secundaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga primaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga total (mm.c.a/m)
A – B	34,8	1	7	2	2	9,01	313,55	698,8	1012,35
B – C	30,0	0	1	0	1	0,69	20,7	59,96	80,66
B – D	30,0	0	2	1	1	1,84	55,2	59,96	115,16
E- G	30,0	0	2	1	1	1,84	55,2	89,94	145,14
F – G	30,0	0	3	0	1	1,65	49,5	119,92	169,42
G - H	34,8	0	7	2	3	6,88	239,42	628,92	868,34
								Pérdida total circuito 1	2391,07

Tabla 13. Tabla pérdidas de carga primarias y secundarias del sistema para el circuito A-B/B-C/E-G/F-G/G-H.

TRAMO	Pérdida carga por metro lineal (mm.c.a/m)	Válvulas de retención	Codos	T a 90°	Válvulas de esfera	Longitud equivalente (m)	Pérdida carga secundaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga primaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga total (mm.c.a/m)
A – B	34,8	1	7	2	2	9,01	313,55	698,8	1012,35
B – C	30,0	0	1	0	1	0,69	20,7	59,96	80,66
E- G	30,0	0	2	1	1	1,84	55,2	89,94	145,14
F – G	30,0	0	3	0	1	1,65	49,5	119,92	169,42
G – H	34,8	0	7	2	3	6,88	239,42	628,92	868,34
								Pérdida total circuito 1	2275,91

Tabla 14. *Tabla pérdidas de carga primarias y secundarias del sistema para el circuito A-B/B-D/E-G/F-G/G-H.*

TRAMO	Pérdida carga por metro lineal (mm.c.a/m)	Válvulas de retención	Codos	T a 90°	Válvulas de esfera	Longitud equivalente (m)	Pérdida carga secundaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga primaria (mm.c.a/m)	Pérdida carga total (mm.c.a/m)
A – B	34,8	1	7	2	2	9,01	313,55	698,8	1012,35
B – D	30,0	0	2	1	1	1,84	55,2	59,96	115,16
E- G	30,0	0	2	1	1	1,84	55,2	89,94	145,14
F – G	30,0	0	3	0	1	1,65	49,5	119,92	169,42
G – H	34,8	0	7	2	3	6,88	239,42	628,92	868,34
								Pérdida total circuito 2	2310,41

Como podemos observar los dos circuitos posibles por los cuales puede circular la mezcla de agua más anticongelante tienen una pérdida muy similar por lo que podremos dar el sistema por equilibrado.

1.6.2. Bomba de circulación

Una vez conocida la pérdida total del circuito añadiendo la pérdida que nos aportarán los interacumuladores (el dato proporcionado por Viessmann es de 1500 mm.c.a. sumando la pérdida del interacumulador de ACS y el utilizado para calefacción) ya podemos calcular la bomba que utilizaremos para hacer circular el fluido a través del circuito primario de la instalación mediante los siguientes parámetros:

- Caudal = 736 l/h
- Pérdida de carga = 5 m.c.a.

Si sumamos las pérdidas del circuito y las pérdidas que nos producirán los interacumuladores seleccionados veremos que la altura seleccionada es algo superior ya que tenemos que prevenir posibles pérdidas adicionales que puedan surgir en la instalación y posteriormente las pérdidas que se producirán a lo largo del tiempo causadas por el deterioro y obstrucción de las diferentes tuberías que forman el sistema.

La bomba seleccionada será un Willo Stratos – D 32/1-12 CAN PN 6/10 como lo que tenemos en la imagen y cuya hoja de especificaciones se encuentra al final de proyecto.



Figura 6. Willo Stratos – D32/1-12 CAN PN 6/10.

1.6.3. Vaso de expansión

- 8 captadores con un volumen unitario de 1,83 litros
- Tuberías del primario 43,5 m con diámetro de 20 mm.
- Volumen intercambiadores de 10 litros

Sabiendo estos datos de entrada podemos determinar que el volumen total que circulará por el sistema vendrá dado por la siguiente expresión:

$$V = V_{cap} + V_{tub} + V_{int} \quad (12)$$

Donde:

V_{cap} , será el volumen que contengan los captadores de la instalación.

V_{tub} , será el volumen contenido por las tuberías de la instalación.

V_{int} , será el volumen contenido por los intercambiadores de la instalación.

Aplicando los parámetros que hemos indicado anteriormente a la expresión para el cálculo del volumen total contenido por la instalación podemos calcular que el volumen total será:

$$V = V_{cap} + V_{tub} + V_{int} = 8 * 1,83 + \left(\frac{\pi}{4} * 0,02\right)^2 * 43,5 * 1000 + 10 = 35,37 \text{ l} \quad (13)$$

Considerando 100 °C como temperatura máxima que alcanzará el fluido dentro del circuito determinaremos el coeficiente de expansión mediante la expresión aplicada para el rango de temperaturas comprendido entre 70 °C y 140 °C.

$$Ce = \frac{(-33,48 + 0,738 * t)}{1000} = \frac{(-33,48 + 0,738 * 100)}{1000} = 0,0403 \quad (14)$$

Siendo nuestro fluido caloportador una solución de glicol en agua deberemos corregir el coeficiente expansión aplicando un factor corrector que variará dependiendo del porcentaje utilizado en la mezcla.

$$fc = a * (1,8 * t + 32)^b \quad (15)$$

Donde los coeficientes a y b introducidos en la ecuación del factor de corrección se calcularán gracias a las siguientes expresiones:

$$a = -0,0134 * (G^2 - 143,8 * G + 1918,2) \quad (16)$$

$$b = 3,5 * 10^{-4} * (G^2 - 94,57 * G + 500) \quad (17)$$

Donde:

G será el porcentaje de anticongelante de la mezcla que como hemos determinado en cálculo anteriores será del 35%.

$$a = -0,0134 * (35^2 - 143,8 * 35 + 1918,2) = 25,32 \quad (18)$$

$$b = 3,5 * 10^{-4} * (35^2 - 94,57 * 35 + 500) = -0,55 \quad (19)$$

Una vez conocidos los parámetros necesarios ya podemos introducirlos en la ecuación pertinente para el cálculo del factor de corrección que aplicaremos posteriormente para el cálculo del coeficiente de expansión.

$$f_c = 35,32 * (1,8 * 100 + 32)^{-0,55} = 1,856 \quad (20)$$

El volumen útil de la instalación nos relacionará el volumen contenido por la instalación, el factor de corrección que se debe aplicar al coeficiente de expansión y como no podía ser de otra manera el mismo coeficiente de expansión de la instalación. Por lo tanto tendremos la siguiente expresión para la determinación del volumen útil de la instalación:

$$V_u = V * C_e * f_c = 35,37 * 0,0403 * 1,856 = 2,64 \text{ l} \quad (21)$$

El procedimiento de cálculo para la determinación de vaso expansión viene determinado por la norma UNE 100155, pero el CTE también nos remite a la aplicación de una expresión para el cálculo del volumen útil. Una vez tengamos los dos volúmenes calculados simplemente escogeremos el volumen mayor para la finalización el cálculo del vaso de expansión.

$$V_u = 1,1 * V_{cap} = 1,1 * (1,83 * 8) = 16,1 \text{ l} \quad (22)$$

El volumen útil seleccionado para la finalización de los cálculos será el volumen de 16,1 litros obtenido siguiendo el CTE que es muy superior a los 2,64 litros calculados mediante la expresión proporcionada por la norma UNE.

Para la determinación del volumen mínimo del vaso de expansión cerrado utilizado en nuestro sistema necesitaremos conocer el coeficiente de presión que nos relacionará el volumen total con el volumen útil.

$$C_p = \frac{p_M}{p_M - p_m} = \frac{5+1}{5-2} = 2 \quad (23)$$

Donde:

p_M , será la presión máxima en el vaso valorada en 5 bar.

p_m , será la presión mínima en el vaso valorada en 2 bar.

Y finalmente aplicar el coeficiente de presión obtenido al volumen útil que tenemos en consideración.

$$V_t = V_u * C_p = 16,1 * 2 = 32,2 \text{ litros} \quad (24)$$

En nuestra instalación dispondremos de un vaso de expansión cerrado de la casa Zilmet, el modelo seleccionado es el vaso de expansión Zilmet Solar Plus 35.



Figura 7. Vaso de expansión Zilmec Solar Plus 35 con un volumen de 35 litros.

Todos los vasos de expansión de Zilmec cumplen la norma DIN4757 y el EN12977 y funcionan con una mezcla del glicol. Sus dimensiones serán una altura de 400 mm. y diámetro de 380 mm.