

1. DATOS DE PARTIDA

El motivo del presente proyecto es el de dotar de un sistema de calentamiento de agua por energía solar a una vivienda unifamiliar situada en las afueras de la ciudad de Salamanca.

La unidad familiar la componen 7 miembros que habitan en la vivienda permanentemente (los 12 meses del año), aunque en los meses de julio y agosto el núcleo se ve aumentado con la visita de otros 3 familiares.

La vivienda es de reciente construcción disponiendo de una azotea plana de 9x8 metros con cuarto trastero, la vivienda dispone de la preinstalación para equipo solar térmico. Esta preinstalación consiste en:

- Tubería de alimentación de agua fría hasta el trastero.
- Tubería de agua caliente aislada para conexión con el interior.
- Existencia de desagüe en el cuarto trastero.
- Línea eléctrica.

No existen en alrededores obstáculos que puedan proyectar sombras sobre los colectores.

2. CÁLCULO DE LA CARGA DE CONSUMO

Como no disponemos de datos concretos acerca de consumos, tomaremos el valor medio de 40 litros por persona y día. Tomaremos como temperatura de consumo 45 °C. (Los valores anteriores se han elegido siguiendo la recomendación de las Especificaciones Técnicas de Diseño y Montaje de Instalaciones Solares Térmicas para Producción de Agua Caliente editadas por la Junta de Andalucía)

A partir de los datos anteriores podemos calcular las necesidades energéticas para cada mes (hoja de carga):

	OCU (%)	CONSUMO (m ³)	T _F (°C)	SALTO TÉRMICO (°C)	DEMANDA (termias)	DEMANDA (megajulios)
ENERO	70	8,7	5	40	347	1452
FEBRERO	70	7,8	6	39	305	1279
MARZO	70	8,7	8	37	321	1343
ABRIL	70	8,4	10	35	294	1230
MAYO	70	8,7	11	34	295	1234
JUNIO	70	8,4	12	33	277	1159
JULIO	100	12,4	13	32	396	1660
AGOSTO	100	12,4	12	33	409	1712
SEPTIEMBRE	70	8,4	11	34	285	1194
OCTUBRE	70	8,7	10	35	303	1271
NOVIEMBRE	70	8,4	8	37	310	1300
DICIEMBRE	70	8,7	5	40	347	1452
TOTAL AÑO		110			3889	16286

Tabla 1:Hoja de carga

Dónde:

En la primera columna se hace referencia a la ocupación de la vivienda, o del consumo respecto al consumo máximo estimado.

En la segunda columna se hace referencia al consumo mensual.

La tercera columna representa la temperatura media del agua de la red, estos valores se encuentran tabulados en la tabla 5 del capítulo 2.1.4.

La cuarta columna expresa la diferencia entre 45 °C y la temperatura del agua de red.

La quinta y sexta columna expresan la demanda energética para cubrir el consumo necesario de agua caliente, se obtiene aplicando la fórmula:

$$Q = mc_e \Delta T$$

m: masa

c_e: calor específico del agua

Δ T: salto térmico

3. DIMENSIONADO DE LA SUPERFICIE DE CAPTADORES

El dimensionado de la superficie captadora se ha llevado a cabo utilizando el programa de cálculo CENSOL 4.0 (© 1998-2000 PROGENSA), con el que se obtienen los siguientes resultados) :

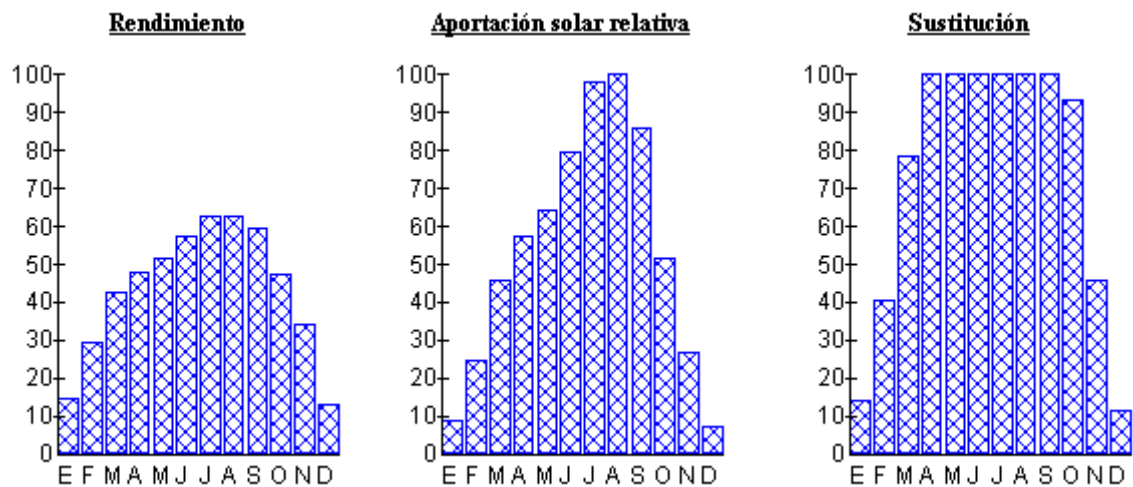
Fecha: 27-01-01
 Aplicación: Térmica (C: \CENSOL40\PROY2.TER)
 Situación: SALAMANCA: (41 °N)
 (u.m.): ptas.

DATOS			RESULTADOS		
Inclinación:	45°		Demanda anual:	16 292	MJ
Desviación N-S (β):	0°		Energía/año·m²:	2 439	MJ
Corrección de H:	1.05		Aportación solar:	73.1	%
Pérdidas globales:	15 %		Déficit energético:	4 388	MJ
Nº de usuarios:	10		Ahorro anual:	56 256	u.m.
Litros/día·usuario:	40		Coste energía auxiliar:	20 738	u.m.
Área del colector:	2.01 m²		Superficie colectora:	6.0	m²
Parámetros b y m:	0.83 , 4.8		Número de colectores:	3	
Temperatura de uso:	45°C				
Precio del kW·h:	17 u.m.				

 Valores mensuales:

	1	2	3	4	5	6	7	8
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
ENE	70	8.7	5	40	347	1452	46.9	6.1
FEB	70	7.8	6	39	305	1279	45.7	9.5
MAR	70	8.7	8	37	321	1343	43.3	13.5
ABR	70	8.4	10	35	294	1230	41.0	17.1
MAY	70	8.7	11	34	295	1234	39.8	19.7
JUN	70	8.4	12	33	277	1159	38.7	22.8
JUL	100	12.4	13	32	396	1660	53.6	24.6
AGO	100	12.4	12	33	409	1712	55.2	22.6
SEP	70	8.4	11	34	285	1194	39.8	17.5
OCT	70	8.7	10	35	303	1271	41.0	11.3
NOV	70	8.4	8	37	310	1300	43.3	7.4
DIC	70	8.7	5	40	347	1452	46.9	5.2

	9	10	11	12	13	14	15	16
=====								
ENE	6.4	1.42	8.55	8	296	6	63.1	15.0
FEB	10.0	1.3	12.19	9	376	7	48.5	29.5
MAR	14.2	1.16	15.46	9	477	10	35.2	42.8
ABR	18.0	1.03	17.38	9.5	508	13	30.2	47.8
MAY	20.7	0.93	18.08	9.5	528	16	26.3	51.7
JUN	23.9	0.89	20.03	9.5	585	20	20.5	57.5
JUL	25.8	0.93	22.58	9.5	660	24	15.3	62.8
AGO	23.7	1.04	23.20	9.5	678	23	15.6	62.5
SEP	18.4	1.21	20.90	9	645	20	18.6	59.4
OCT	11.9	1.41	15.73	9	485	14	30.7	47.4
NOV	7.8	1.55	11.32	8	393	9	44.0	34.1
DIC	5.5	1.52	7.80	7.5	288	6	64.8	13.2
=====								
	17	18	19	20	21	22		
=====								
ENE	1.28	1.09	33.7	203	14.0	1249		
FEB	3.60	3.06	85.7	516	40.4	762		
MAR	6.62	5.62	174.3	1051	78.2	292		
ABR	8.31	7.06	211.9	1277	100.0	0		
MAY	9.35	7.95	246.3	1485	100.0	0		
JUN	11.52	9.79	293.8	1771	100.0	0		
JUL	14.17	12.04	373.4	2251	100.0	0		
AGO	14.49	12.31	381.8	2301	100.0	0		
SEP	12.42	10.56	316.7	1909	100.0	0		
OCT	7.45	6.33	196.3	1183	93.1	87		
NOV	3.86	3.28	98.3	592	45.6	707		
DIC	1.03	.88	27.2	164	11.3	1288		



Donde:

- Columnas 1 a 6: Ídem que en hoja de carga (punto 2).
 Columna 7: Necesidad energética diaria en megajulios.
 Columna 8: H = Energía incidente en un m^2 horizontal (MJ)
 Tabla 2, capítulo 2.1.4.
 Columna 9: Valor de H corregido por el factor 1.05 por situarse en zona de sierra.
 Columna 10: Valor del coeficiente de corrección k para una latitud $L=41^\circ$ y una inclinación $\alpha=45^\circ$.
 Tabla 6, capítulo 2.1.4.
 Columna 11: $E=0.94kH$
 Columna 12: Nº de horas de sol útiles.
 Columna 13: Intensidad media útil I , en W/m^2 , se obtiene dividiendo la columna 11 (previamente pasada a julios) por la columna 12 (pasada a segundos).
 Columna 14: Temperatura ambiente durante las horas de sol.
 Tabla 4 del capítulo 2.1.4.

- Columna 15: Parte de la ecuación de rendimiento: $100m(45-t_a)/I$
 Columna 16: Rendimiento real del colector expresado en %. Se calcula a partir del rendimiento teórico:

$$h = 100[0.83 - 4.8(t^o - t_a^o) / I] = 83 - 480(t^o - t_a^o) / I$$

- Como se trata de un colector con cubierta y destinado a la obtención de A.C.S., el factor b (83) se corrige multiplicando por 0.94.
 Columna 17: Aportación solar por m^2 . Se obtiene multiplicando las columnas 11 y 16 (previamente dividida por 100).
 Columna 18: Energía neta disponible al día por m^2 . Afectamos la columna 17 del factor 0.85 a fin de considerar las pérdidas producidas en el acumulador.
 Columna 19: Energía neta disponible al mes por m^2 .

En este punto ya estamos en disposición de calcular la el rea de la superficie colectora necesaria. Para ello dividimos la suma de todos los valores de la columna 6 entre la suma de la columna 19:

$$\text{Superficie de colectores} = \frac{16286 \text{ MJ}}{2440 \text{ MJ/m}^2} = 6.67 \text{ m}^2$$

Como la superficie útil del colector que vamos a usar es de 2.01 m^2 , tendremos que usar:

$$\text{N}^\circ \text{ de colectores} = \frac{\text{Superficie total}}{\text{Superficie Colector}} = \frac{6.67}{2.01} \approx 3 \text{ colectores}$$

A partir de este dato podemos determinar la superficie colectora real de nuestra instalación:

$$3 \text{ colectores} \times 2.01 \text{ m}^2 / \text{colector} = 6.03 \text{ m}^2$$

- Columna 20: Se obtiene multiplicando la superficie real por la energía neta por m^2 (columna 19).
 Columna 21: % de sustitución, representa la fracción de consumo energético que es satisfecha por la energía solar. (columna 20/columna 6)x100
 Columna 22: Déficit energético, Columna 6 – Columna 20. Representa la energía auxiliar que hay que aportar los meses en que la energía solar no basta por sí sola para cubrir el 100% de las necesidades.

La suma de todos los valores de la columna 22 representa la energía auxiliar que necesitamos en un año, en proporción a la energía total necesaria será:

$$\text{Déficit energía} = \frac{\sum \text{Déficit energético (Col.22)}}{\sum \text{Demanda energética (Col.6)}} = \frac{4385}{16286} \cdot 100 = 26.9 \%$$

y, por lo tanto, el ahorro de energía debido al aporte solar será:

$$\text{Aporte solar} = 100 - 26.9 = 73.1 \%$$

Justificación de datos de partida:

-La inclinación de los colectores (α) se ha tomado igual a 45° por ser éste el valor en el que el aporte solar es máximo. (Se ha probado haciendo los cálculos para una inclinación de 50°).

-Se ha tomado un factor de corrección de H de 1.05 ya que se ha considerado que la vivienda se encuentra en una zona de sierra, con unos niveles de contaminación atmosférica muy bajos.

-Cómo factor de pérdidas globales se ha tomado un valor del 15% (caso general).

-Nº de usuarios = 10 por ser ésta la cantidad máxima de personas que ocuparán la vivienda en época estival.

-Litros/día x usuario = 40 litros, según especificaciones técnicas.

-Datos acerca del colector (Área, b, m): Se ha seleccionado para la instalación el modelo NORDSOL1, homologado por la U.E. según normativa ISO 9806-1. Características técnica en apartado 7.

4. DIMENSIONADO DEL VOLUMEN DE CAPTACIÓN

Para la aplicación que nos ocupa, lo ideal según el punto 3.2.5.3. (ver figs. 3.1 y 3.2) sería un volumen de captación de 70 l/m^2 , lo que correspondería a un volumen total de:

$$\text{Vol. acumulación} = 70 \text{ l/m}^2 \cdot 6.031 = 420 \text{ l}$$

Tomaremos pues un acumulador de 400 l.

Comprobemos si se cumplen las siguientes condiciones reflejadas en las especificaciones técnicas publicadas por la Junta de Andalucía:

1. El área total de captadores estará comprendida entre los siguientes valores:

$$60 \leq \frac{M}{A} \leq 100$$

donde

A: área de captadores en m^2

M: carga de consumo en litros/día

La carga de consumo M se refiere al valor medio diario anual cuando el consumo sea constante a lo largo del año o a los valores medios diarios de los meses estivales cuando sea variable a lo largo del año, como el caso que nos ocupa.

Efectivamente,

$$\frac{M}{A} = \frac{400}{6} \approx 67$$

luego se cumple la especificación.

2. El volumen de acumulación solar cumplirá la siguiente condición:

$$0.8 \leq \frac{V}{M} \leq 1.2$$

En nuestro caso:

$$\frac{V}{M} = \frac{400}{400} = 1$$

luego también se cumple ésta.

5. SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN BÁSICA

La instalación tendrá las siguientes características:

- a. Circulación forzada: el consumo del electrocircular no presenta una influencia económica notable si consideramos que la energía de apoyo será la eléctrica. Además, supone una complicación el tener que situar el depósito de acumulación por encima de los colectores para poder prescindir del electrocircular.
- b. Sistema con intercambiador de calor: imposibilidad de un sistema directo debido a que existen riesgos de heladas, intercambiador en el acumulador por simplicidad y por ser la solución mas adecuada para un proyecto de estas dimensiones.
- c. Sistema de energía auxiliar en depósito principal(resistencia eléctrica).
- d. Circuito primario cerrado.

6. SELECCIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR

En esta zona el riesgo de heladas es elevado, razón por la cual es recomendable optar por un sistema con intercambiador de calor.

El fluido caloportador que circulará por el circuito primario será una mezcla de agua con anticongelante.

El anticongelante utilizado será propilenglicol.

La temperatura mínima histórica de la provincia de Salamanca es de -16°C por lo que nuestra instalación debe de estar preparada para soportar temperaturas hasta de -21°C (5° menos que la mínima histórica).

Para soportar esta temperatura la concentración en peso del propilenglicol será del 40%, ver figura 5.1.

El calor específico de la mezcla será aproximadamente de $0.91 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$ a 45°C .

Para el rango de temperaturas de trabajo, en ningún momento el calor específico es inferior a $0.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$ tal y como indican las especificaciones técnicas.(Tabla 5.2)

La viscosidad de la mezcla será igual a 1.8 centipoises a una temperatura de 45°C , ver tabla 5.3. En las tablas 5.4 y 5.5 podemos hallar otras características de la mezcla tales como conductividad térmica y densidad.

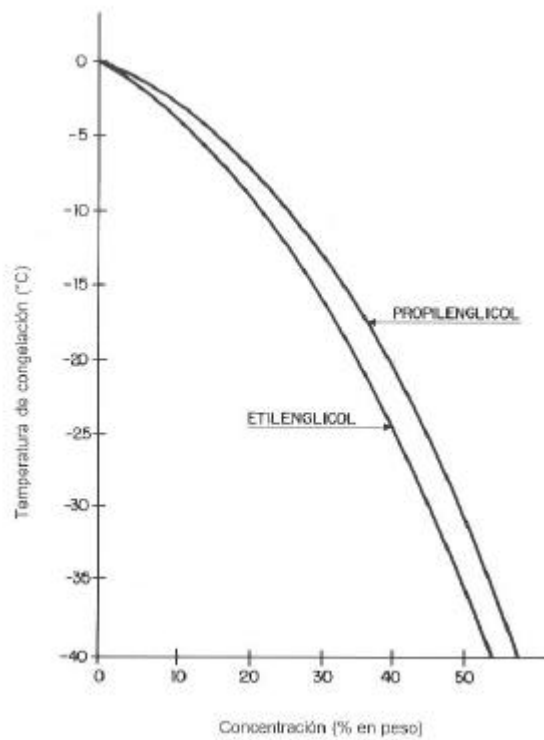


Fig. 5.1

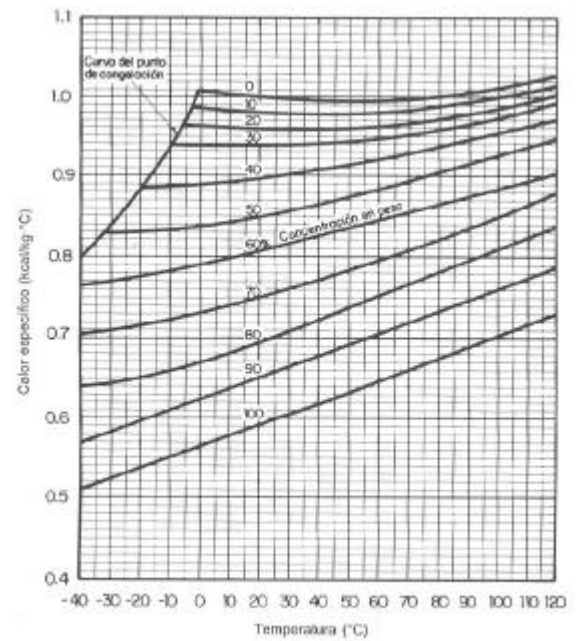


Fig. 5.2

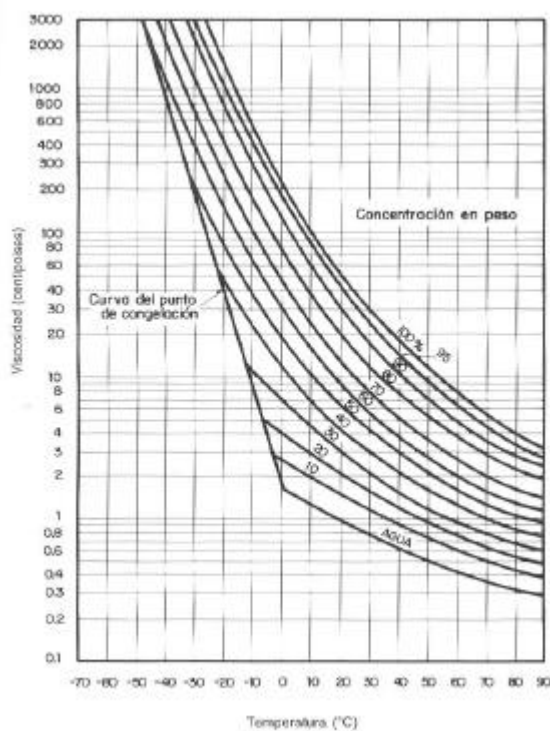


Fig. 5.3

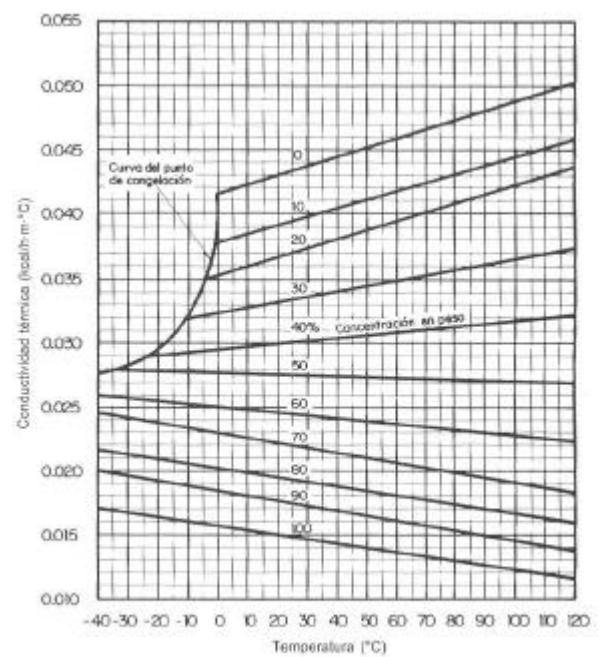


Fig. 5.4

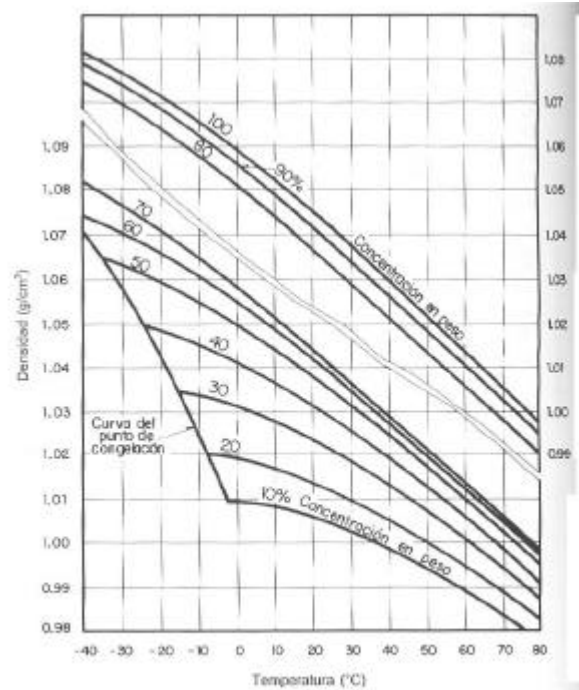


Fig 5.5

7. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

Como ya se ha mencionado, la inclinación de los colectores será de 45° y se orientarán hacia el sur.

El colector utilizado es el modelo NORDSOL1, comercializado en España por la empresa *Europea de Técnicas Ambientales S.L.* A continuación se enumeran las características de dicho colector:

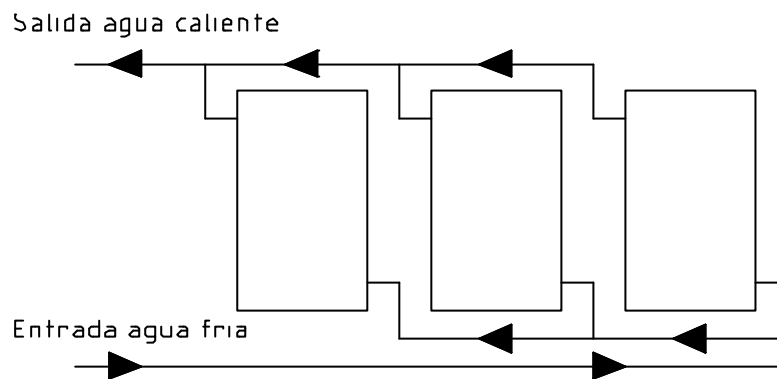
- Panel construido en acero inoxidable A.I.S.I. 316, homologado en la U.E. según ISO 9806-1.
- Ecuación característica:

$$h = 0.826 - 4.80(t_m - t_a) / G$$

- Tamaño exterior: 106 cm x 205 cm x 8 cm
- Tamaño útil de captación: 2.01 m²
- Absorbedor: Plancha canalizada de alta resistencia de acero inoxidable de 2 x 0.6 mm, construcción en canales verticales y horizontales ideal para instalación en vertical o apaisada.
- Membrana selectiva: Maxorb de óxido de níquel sin cromo que aguanta temperaturas de más de 300°C.
- Capacidad térmica: 22.1 kJ/K.
- Absortividad: 0.98
- Emisividad: 0.11
- Juntas: Butilo y silicona de alta resistencia.
- Ventilación interna: natural a presión atmosférica.
- Peso vacío: 50 kg.
- Contenido líquido: 2.4 litros (1.194 l/m²)
- Aislamiento posterior: 50 mm fibra mineral.(Rockwooll)
- Aislamientos laterales: 20 mm de fibra mineral.
- Vidrio especial: templado, de 3.4 mm de espesor y con bajo contenido de hierro.
- Marco: acero inoxidable A.I.S.I. 316.
- Fondo: Chapa aluminio.

- Conexiones: 2 de 50 mm x Ø15mm para uniones a presión tipo Conex.
- Ubicación de las conexiones en diagonal o superiores a elección.
- Orificio interno para sonda: opcional de Ø6mm
- Presión de prueba constante: 3.7 bar
- Presión de prueba de choque durante 10 segundos: 10 bar (máximo)
- Presión de funcionamiento: 1.5 bar (recomendado)
- Caudal recomendado: 2.4 l/min
- Pérdida de carga: 275 mm CA a 20°C con caudal recomendado.
- Homologación N°: D2135A (válida en toda la Unión Europea)
- Ensayo según la normativa ISO 9806-1)
- Vida estimada del panel solar: Más de 100 años.
- Garantía 10 años contra defectos de fabricación.

Se instalarán 3 paneles en paralelo, a continuación se puede apreciar un esquema de la conexión (retorno invertido):



En cuanto a la estructura de soporte de los colectores, el problema se simplificará ya que el fabricante comercializa soportes prefabricados de acero galvanizado para sus colectores, estos soportes son ideales para la instalación que nos ocupa.

Los soportes se fijarán en bancadas de hormigón armado para una mayor sujeción. Se utilizarán tres bancadas de dimensiones 200 cm x 40 cm x 20 cm.

8. DISEÑO DEL SISTEMA INTERCAMBIADOR-ACUMULACIÓN- APORTE DE ENERGÍA AUXILIAR

Como se indicó anteriormente, el volumen de acumulación del sistema será de 400 litros. Por simplicidad y porque la dimensión de la instalación así lo aconseja, se ha optado por un depósito que incluya intercambiador.

El modelo de depósito elegido es del fabricante Rayosol y sus características son:

- Volumen de 400 litros
- Intercambiador tubular con superficie de intercambio de 1.8 m²
- Acero inoxidable
- Aislamiento de poliuretano de gran espesor (50 mm)
- Funda de skay
- Para montaje en interiores
- Configuración vertical
- Peso en vacío 89 kg
- Triple apoyo

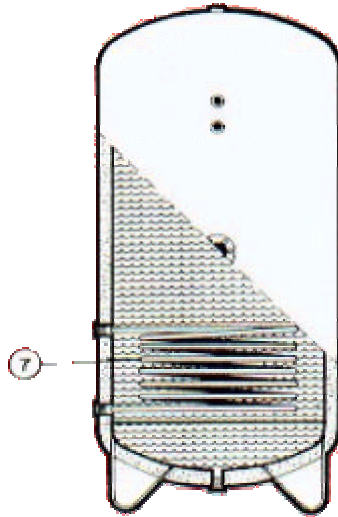


Fig 8.1. Dibujo del acumulador en el que se observa el intercambiador tubular

La superficie de intercambio debe de estar comprendida entre $1/4$ y $1/3$ de la superficie total colectora, en nuestro caso, la superficie colectora es de 6 m^2 luego la superficie de intercambio debe de estar comprendida entre 1.5 y 2 m^2 , condición que cumple el depósito seleccionado con 1.8 m^2 de superficie de intercambio.

El sistema de energía auxiliar consiste en una resistencia eléctrica ubicada en el mismo depósito de acumulación. La potencia de la resistencia eléctrica la calculamos de la siguiente forma:

$$P = 150 \cdot S = 150 \cdot 6 = 900 \text{ W}$$

Será necesario pues con una resistencia de 1000 W para aporte de energía auxiliar en el acumulador.

9. DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

9.1. Tuberías

Las tuberías, tanto en el circuito primario como en el secundario serán de cobre.

Procedamos a calcular el diámetro de dicha tubería, para ello usaremos la siguiente expresión:

$$D = j \cdot C^{0.35}$$

donde D: diámetro en cm
 C: caudal en m^3/h
 $j = 2.2$ para tuberías metálicas

Antes de proceder con el cálculo del diámetro, necesitamos estimar el caudal al que trabajará la instalación. El caudal recomendado por el fabricante de los paneles es de 2.4 litros por minuto y por colector cuando el fluido caloportador es agua. Para otros fluidos debemos dividir este valor por el calor específico correspondiente:

$$C = \frac{2.40}{c_e} = \frac{2.40}{0.91 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}} = 2.64 \text{ l/panel} \cdot \text{min} \cdot 3 \text{ paneles} = 7.92 \text{ l/min} = 475 \text{ l/h} = 0.475 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hemos despreciado la diferencia entre caudal másico y volumétrico ya que los valores obtenidos apenas varían al ser la densidad de la mezcla cercana a 1 g/cm^3 .

Sustituyendo el valor del caudal en la primera expresión resulta:

$$D = 2.2 \cdot 0.475^{0.35} = 1.69 \text{ cm} \approx 17 \text{ mm}$$

Tomamos como valor normalizado más próximo el tubo de diámetro nominal 18mm (diámetro interior = 16 mm).

Este valor coincide con el diámetro mínimo recomendado para este tipo de instalaciones (Tabla 11 del capítulo 3.2.4)

A continuación debemos comprobar que para el diámetro obtenido se cumplen las siguientes condiciones:

- La pérdida de carga por metro lineal de tubo no supere los 40 mm CA.
- La velocidad de circulación del líquido ha de ser inferior a 1.5 m/s.
- La pérdida total de carga en el circuito principal no ha de superar los 7 m CA.

A partir del ábaco de la figura 9.1, podemos determinar la pérdida de carga debida al rozamiento, así como la velocidad del fluido. Hay que tener en cuenta que, al ser el fluido caloportador distinto de agua, a los resultados obtenidos en estos ábacos debemos de afectarlos de un factor corrector igual a la raíz cuarta del cociente entre la viscosidad de la disolución y la del agua a la temperatura considerada (45 °C):

El factor de corrección será:

$$factor = \sqrt[4]{\frac{1.8}{0.55}} \approx 1.35$$

Tenemos pues, una pérdida de carga de :

$$1.35 \cdot 36 \text{ mmCA} = 48.6 \text{ mmCA}$$

Este valor no se encuentra dentro de los límites tolerables, luego nos vemos obligados a tomar el diámetro inmediatamente superior que será Ø22.

Para este diámetro tenemos una pérdida de carga lineal de:

$$1.35 \cdot 12.5 \text{ mmCA} = 16.87 \text{ mmCA}$$

A partir del mismo ábaco también se puede obtener una aproximación a la velocidad del fluido, en este caso alrededor de 0.4 m/s.

Estos dos valores sí se encuentran dentro de los límites admisibles.

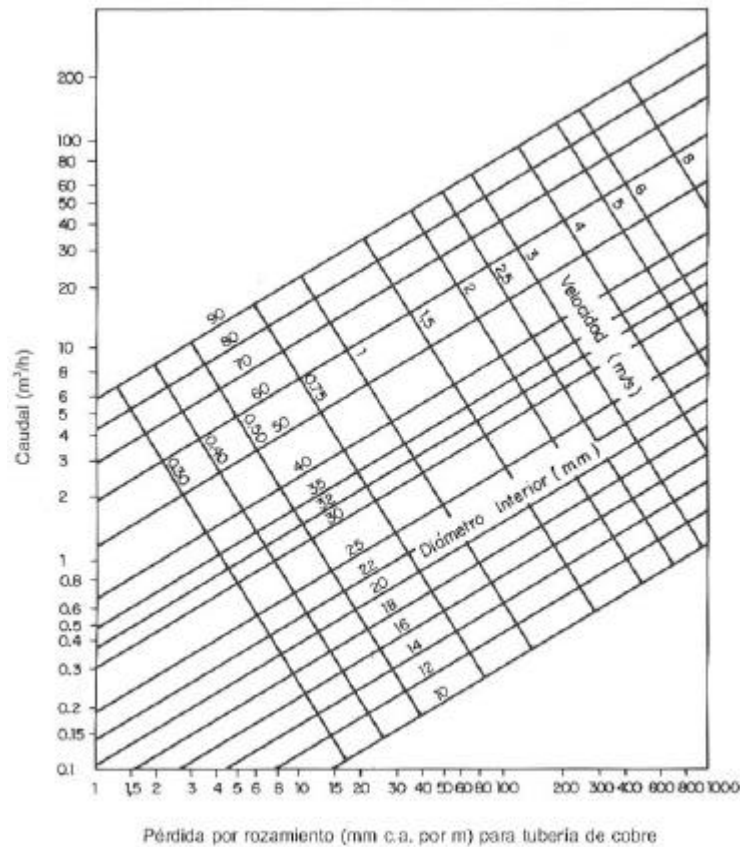


Fig 9.1

A continuación procedemos a calcular de forma aproximada la pérdida de carga total en el circuito principal del primario:

Para ello recurriremos al método de reducir las singularidades del circuito a longitud equivalente de tubería. Las longitudes equivalentes de cada singularidad se han tomado de la tabla 9 del capítulo 3.2.4.

En nuestro caso tenemos:

Cantidad	Singularidad	L_E	Total
12	Derivación en T	2,2	26,4
6	Válvula de bola	1	6
6	Codos de 90°	1,5	9
1	Entrada a depósito	1,5	1,5
1	Salida depósito	1	1
1	Válvula retención de clapeta	10	10
Total singularidades =			53,9

La longitud equivalente correspondiente a las singularidades será pues de 53.9 m, si a esto le sumamos los 20 m de longitud real, tendremos una longitud virtual igual a :

$$L_{\text{virtual}} = L_{\text{real}} + L_E = 20 + 53.9 = 73.9 \text{ metros}$$

Teniendo en cuenta que la pérdida de carga por metro lineal de tubería es de 16.87 mmCA/m tendremos una pérdida total de:

$$\Delta H = 73.9 \text{ m} \cdot 16.87 \text{ mmCA/m} = 1247 \text{ mmCA} = 1.247 \text{ m CA}$$

Luego este valor también se encuentra dentro de los límites tolerables.

Las tuberías de cobre a utilizar ($\varnothing 22$) tienen las siguientes características según UNE 37.141-76:

- Diámetro exterior = 22 mm
- Diámetro interior = 20 mm
- Espesor de pares = 1 mm
- Peso lineal = 0.587 kg/m
- Superficie pared exterior = 691 cm² /m
- Sección interior = 314 mm²
- Capacidad = 0.314 l/m
- Resistencia útil = 44 Kp/cm²
- Resistencia a la rotura = 220 Kp/cm²

Tal como se indica en las especificaciones técnicas, el circuito hidráulico cumplirá las siguientes condiciones:

- Trazado de tuberías con retorno invertido para garantizar que el caudal se distribuya uniformemente entre los captadores.
- Bomba de circulación en línea, en la zona más fría del circuito y en tramo de tubería vertical.
- El vaso de expansión de conectará a la aspiración de la bomba.
- El circuito irá provisto de válvulas de seguridad taradas a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se superará la presión máxima de trabajo de los componentes.
- Se colocarán sistemas antiretorno para evitar la circulación inversa y en la entrada de agua fría del acumulador solar.
- El circuito incorporará un sistema de llenado manual que permitirá llenar y mantener presurizado el circuito.
- Se montarán válvulas de corte para facilitar la sustitución o reparación de componentes sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. Estas válvulas independizarán baterías de captadores, intercambiador de calor, acumulador y bomba.
- Se instalarán válvulas de corte a la entrada de agua fría y salida de agua caliente del depósito de acumulación solar.
- Se instalarán válvulas que permitan el vaciado total o parcial de la instalación.
- En cada zona de la batería de captadores en la que se hayan situado válvulas de corte se instalarán válvulas de seguridad.
- En los puntos altos de la salida de baterías de captadores se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático.
- En el trazado del circuito se evitan en lo posible los sifones invertidos y caminos tortuosos que faciliten el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos de la instalación.
- Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de la circulación.
- Las tuberías y accesorios se aislarán y protegerán con materiales que cumplan las normas especificadas.

9.2. Bomba de circulación

Para calcular la potencia aproximada de la bomba necesaria hacemos uso de la siguiente expresión:

$$P = C \cdot \Delta p$$

dónde P: Potencia eléctrica
C: Caudal
 Δp : Pérdida de carga de la instalación

Debemos considerar la pérdida de carga producida en los colectores y en el intercambiador de calor, para ello recurrimos a los datos facilitados por los fabricantes.

En el caso de los colectores, el fabricante nos proporciona el dato de 275 mm CA a 20°C con caudal recomendado. Como tenemos una combinación de tres colectores en paralelo, para determinar la pérdida de carga total recurrimos a la siguiente expresión:

$$\Delta p_T = \frac{\Delta p \cdot N \cdot (N + 1)}{4}$$

dónde Δp_T : Pérdida de carga del grupo
 Δp : Pérdida de carga de un panel
N : Número de colectores

En nuestro caso tenemos:

$$\Delta p_T = \frac{275 \text{ mm CA} \cdot 3 \cdot (3 + 1)}{4} = 825 \text{ mm CA}$$

Para el intercambiador de calor tenemos una pérdida de carga de 1 m CA.

La pérdida de carga total será de:

$$\Delta p = 1.247 \text{ m CA} + 0.825 \text{ m CA} + 1 \text{ m CA} = 3.1 \text{ m CA} \cdot \frac{9800 \text{ N/m}^2}{1 \text{ m CA}} = 30380 \text{ N/m}^2$$

Recordemos que el caudal obtenido en los apartados anteriores era :

$$C = 0.475 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} = 131.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}$$

De todo lo anterior se deduce la potencia teórica para la electrobomba:

$$P = C \cdot \Delta p = 131.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg} \cdot 30380 \text{ N/m}^2 = 4 \text{ W}$$

Si consideramos que el rendimiento del electrocirculador será del 25 %, tendremos una potencia nominal de:

$$P_N = \frac{P}{0.25} = 16 \text{ W}$$

Entre las tomas de aspiración e impulsión del electrocirculador se colocará un manómetro con dos válvulas de cierre (manómetro en *by-pass*) con el fin de poder medir la pérdida de carga del circuito y, con la ayuda de la curva característica facilitada por el fabricante, podemos obtener de forma aproximada el caudal circulante por el circuito.

9.3. Vaso de expansión

Para dimensionar el vaso de expansión cerrado utilizamos la siguiente expresión:

$$V = V_T(0.2 + 0.01h)$$

donde V: capacidad del vaso de expansión

V_T : capacidad total del circuito primario

h: diferencia de altura en metros entre el punto más alto y del campo de colectores y el depósito de expansión.

A continuación calcularemos de forma aproximada la capacidad total del circuito primario, para ello tendremos en cuenta la capacidad de los aproximadamente 20 metros de tubería de diámetro interior 20 mm, la capacidad de los tres colectores, y la capacidad del intercambiador de calor integrado en el depósito.

Volumen de las tuberías:

$$V = \delta \cdot R^2 \cdot L = \delta \cdot (10 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 20 \text{ m} = 6.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 6.3 \text{ litros}$$

Volumen de los colectores:

$$V = 3 \cdot 2.4 \text{ litros} = 7.2 \text{ litros}$$

Volumen del intercambiador, a falta de datos más concretos tomaremos un valor de 10 litros.

Teniendo en cuenta todo lo anterior resulta un volumen total en el circuito primario de unos 24 litros. Por otro lado la diferencia de alturas entre el punto más alto de los colectores y el vaso de expansión será de unos dos metros. El volumen del depósito será:

$$V = 24(0.2 + 0.01 \cdot 2) = 5.28 \approx 6 \text{ litros}$$

9.4. Purgadores y desaireadores

Se dispondrá de un sistema de purga en la batería de colectores. El volumen útil del botellín de desaireación será de 15 cm^3 por m^2 de colector, lo que en nuestro caso equivale a un volumen útil de unos 90 cm^3 .

10. SUBSISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL

El sistema de regulación consiste en :

- Termostato para controlar resistencia eléctrica del acumulador. Éste termostato activará la resistencia eléctrica cuando la temperatura del depósito baje de los 35 °C y la desactivará para una temperatura de 45 °C.
- Termostato diferencial para controlar la marcha del electrocirculador. Éste termostato consta de dos sondas de temperatura que se situaran a la salida de los colectores y en la parte baja del depósito de acumulación. El termostato diferencial se programará para que active la electrobomba cuando la diferencia entre la

temperatura del colector y la del depósito sea de 5°C y se desactive cuando la diferencia sea de 2°C. El modelo elegido es el Control Proporcional C.E.P. 1201 de RAYOSOL.

El control electrónico proporcional CEP-1201 viene provisto de una caja de aluminio para montar en interiores, integrada en una caja de control convencional. En su exterior se aprecian dos luces de color verde: la de la izquierda indica que el aparato esta conectado a la red eléctrica y esta recibiendo 220 V, mientras la de la derecha indica el funcionamiento de la bomba de circulación. Sus especificaciones técnicas son:

Voltaje de entrada:	220/230 V, 50 Hz.
Voltaje en sensores:	ax. 6 V DC.
Resistencia permitida en hilos de sensores:	max. 6 Ohm.
Consumo de energía:	max. 4 W.
Carga permitida:	max. 500 W.

Dimensiones caja de aluminio:	125 x 82 x 40 mm.
Dimensiones caja de ABS:	160 x 80 x 60 mm.
Peso caja de aluminio:	0,420 kg.
Peso caja de ABS:	0,470 kg.

Además de lo anterior, se instalarán dos termómetros que nos permitirán visualizar la temperatura del fluido a la entrada y salida del intercambiador de calor y un manómetro en *bypass* con el electrocirculador.

11. AISLAMIENTO

El aislamiento térmico de todas las tuberías y elementos del circuito primario se llevará a cabo con espuma elastomérica.

El espesor del aislamiento será de 20 mm en tramos interiores y de 30 mm en tramos exteriores.(Tabla 4 del capítulo 3.2.8).

Estas son las características del material aislante seleccionado:

- Temperatura límite = 105°C
- No vulnerable a la corrosión.
- Comportamiento ante el fuego : autoextinguible.
- Resistencia mecánica media
- Muy resistente al agua
- Peso específico = 60 kg/m³
- Coeficiente de conductividad = 0.035 W/m·K a los 20°C

La espuma elastomérica se degrada al exponerse a las radiaciones solares por lo que tendremos que proteger las instaladas a la intemperie con una imprimación que suministra el fabricante (Armaflex).