



ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE SEVILLA

ANEXO 2. CÁLCULOS.

ENERGÍA TÉRMICA SOLAR

Instalación solar

Consideraciones generales

La instalación del sistema solar se ha calculado de acuerdo al CTE DB HE-4 teniendo en cuenta todos sus apartados. Para la evaluación energética se va a utilizar el método empleado por CENSOLAR. Este método permite simplificar los cálculos de irradiación solar sobre la superficie inclinada. La hipótesis tomada es que la energía bruta generada sea igual a la energía total demandada al año, en realidad esto no es exactamente así, ya que en invierno la aportación será inferior y en verano superior.

Datos de partida

Situación

Se trata de un edificio de oficinas situado en la ciudad de Sevilla. Otros datos de Sevilla que nos van a ser útiles son:

- Latitud: 37,4 °
- Altitud: 30 m
- Humedad Relativa Media: 61%
- Temperatura máxima en Verano: 37,4° C
- Temperatura mínima en Invierno: -6

Normativa empleada

Para la realización del Proyecto, se han tenido en consideración las siguientes Normativas, Reglamentos y Ordenanzas vigentes:

- Código Técnico de la Edificación aprobado por Real Decreto 314/2006 el 17 de Marzo de 2006, en especial el Documento Básico HE-4 Contribución solar mínima de A.C.S.
- Norma UNE 100030 “Guía para la prevención y control de la Proliferación y diseminación de legionela en instalaciones”.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas, aprobadas por el Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.

Datos climáticos

Los datos en cuanto a la radiación, temperatura ambiente y temperatura de red se obtienen de la base de datos de CENSOLAR para la ciudad de Sevilla. La Tabla muestra los datos anteriormente nombrados, distribuidos por meses.

Meses	E	F	Mar	Ab	My	Jn	Jl	Agt	Sept	Oct	Nov	Dic
Tª media ambiente(°C)	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12
Tª media agua red (°C)	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
H (MJ/m2día)	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9

La ciudad de Sevilla pertenece a la zona climática V, como se puede apreciar en la imagen.

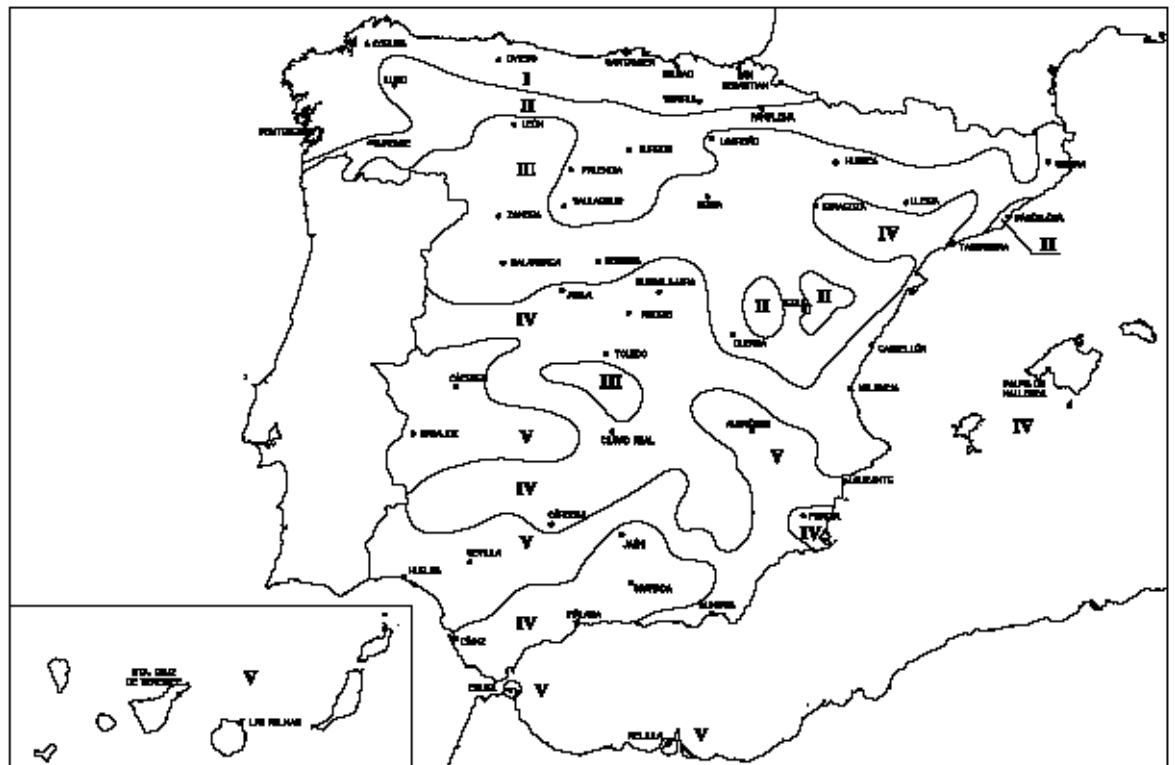


Fig. 3.1. Zonas climáticas

Estimación del consumo de ACS

Teniendo en cuenta que se trata de un edificio de uso administrativo, se supondrá un consumo de 3 litros de acs por persona y por día a 60°C según se indica en el CTE DB HE-4 punto 3.1.1.

La distribución de personas en las oficinas de nuestro edificio será la indicada a continuación:

	Oficinas	Personas Oficina	Personas total
Planta 1ª	Oficina 1A	9	9
	Oficina 1B	14	14
Planta 2ª=3ª	2A=3A	9	18
	2B=3B	14	28
Planta 4ª	Oficina 4A	8	8
	Oficina 4B	10	10
Planta 5ª	Oficina 5A	8	8
	Oficina 5B	5	5
Total			100

La estimación del consumo diario será por tanto:

$$\text{Demanda} = 3 \text{ l/persona} * 100 \text{ personas} = \mathbf{300 \text{ l/día}}$$

La contribución solar mínima va a depender del tipo de fuente energética de apoyo, en nuestro caso el gas, de la demanda total de acs del edificio (calculada anteriormente) y de la zona climática en la que se encuadre el edificio (Zona V). La tabla 2.1 del DB HE-4 nos indica que la contribución solar mínima ha de ser del 70%.

El consumo de agua para cada mes es el siguiente:

Mes	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Días/Mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Consumo m ³	9,30	8,40	9,30	9,00	9,30	9,00	9,30	9,30	9,00	9,30	9,00	9,30

Temperatura de la red y salto térmico

Para cada mes del año tendremos una variación de la temperatura de red. La temperatura de uso de ACS se ha fijado en 45°C, así que el salto térmico para cada mes variará:

Mes	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
T ^a media agua red (°C)	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
Δt (°C)	37	36	34	32	31	30	29	30	31	32	34	37

Necesidades energéticas mensuales y anuales

La demanda energética de ACS vendrá dada por la siguiente expresión:

$$NE = Ce \cdot m \cdot (\Delta T)$$

Donde:

NE = Carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (KJ/mes)

Ce = Calor específico del agua (4.187KJ/Kg°C)

ΔT = Salto térmico en °C

m = Consumo en m³

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Energ. Nec. Al mes (termias)	344,10	302,40	316,20	288,00	288,30	270,00	269,70	279,00	279,00	297,60	306,00	344,10
Energ. Nec. Al mes (MJ)	1440,75	1266,15	1323,93	1205,86	1207,11	1130,49	1129,23	1168,17	1168,17	1246,05	1281,22	1440,75

Necesidad energética anual: 15008 MJ, y como se pretende satisfacer un mínimo del 70% de la necesidad energética anual, hemos de considerar, a efectos de cálculo de la superficie colectora: $15008 \times 0,7 = \mathbf{10505,6 \text{ MJ}}$.

Irradiación solar media

La irradiación solar media horizontal H (MJ/m² día) es la energía que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio. Su valor se toma de la fuente CENSOLAR.

La irradiación será corregida por un factor tabulado que se obtiene en función de la latitud de la localidad donde se encuentra el edificio y en función de la inclinación de los colectores.

En nuestro caso, hemos decidido colocar los colectores orientados hacia el sur en la cubierta del edificio; y al tratarse de una cubierta plana y no disponer de tejado, no se limita el ángulo de inclinación de los colectores, por lo que tomamos el valor de inclinación óptimo de 45°.

Además del factor de corrección por inclinación, se consideran pérdidas por energía desaprovechada, con un valor aproximado de un 6%.

Por tanto la irradiación o energía total que incide sobre el colector inclinado será:

$$E = 0,94 \cdot k \cdot H$$

Siendo:

E = Energía total teórica recibida del sol (MJ/m²).

K = Factor de corrección en función de la inclinación de los colectores y de la latitud de la ciudad en que se dispondrá la instalación de energía solar. Para Sevilla, latitud 37,4° e inclinación de colectores 45°.

H = Irradiación horizontal media que incide en un m² de superficie para el caso concreto de Sevilla.

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Factor K	1,35	1,25	1,11	0,98	0,88	0,85	0,88	0,99	1,15	1,34	1,46	1,45
H (MJ/m ² /día)	7,30	10,90	14,40	19,20	22,40	24,30	24,90	23,00	17,90	12,30	8,80	6,90
Energía E (MJ/m ² /día)	9,26	12,81	15,02	17,69	18,53	19,42	20,60	21,40	19,35	15,49	12,08	9,40

Datos obtenidos del programa Censol V 5.0

La intensidad incidente sobre la superficie de los colectores irá variando conforme transcurra el día. A efectos prácticos se trabaja con una intensidad media y un tiempo útil del día. Esto ha sido determinado para cada mes.

$$I = \frac{E}{t}$$

Donde:

I = Irradiancia (W/m²)

E = Energía teórica recibida por el sol.

t = N° de horas de sol al día.

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía E (MJ/m2/día)	9,26	12,81	15,02	17,69	18,53	19,42	20,60	21,40	19,35	15,49	12,08	9,40
nº horas de sol	8,00	9,00	9,00	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,00	9,00	8,00	7,50
I (w/m2)	321,66	395,29	463,73	517,16	541,79	567,71	602,26	625,84	597,22	478,18	419,34	348,32

Rendimiento del colector

El parámetro que define al captador es la ecuación del rendimiento que aporta el fabricante cuyos términos vienen definidos en función del material con el que está construido y su comportamiento frente a la radiación incidente.

Su expresión general es la siguiente:

$$\eta = A - U \frac{(T_m - T_a)}{I}$$

Donde:

A = Factor de ganancia o rendimiento óptico del colector

U = Factor de pérdidas en W/m2°C

T_m = Temperatura media

T_a = Temperatura ambiente

I = Irradiancia en W/m2

El colector elegido para nuestra instalación es un Escosol sol-2500, el cual tiene la siguiente curva de rendimiento:

$$\eta = 0,7 - 5,3 \frac{(T_m - T_a)}{I}$$

Por tanto, el rendimiento del colector para cada mes será:

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Tª media ambiente(°C)	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12
Energía E (MJ/m2/dia)	9,26	12,81	15,02	17,69	18,53	19,42	20,6	21,4	19,35	15,49	12,08	9,4
nº horas de sol	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5
I (w/m2)	321,66	395,29	463,73	517,16	541,79	567,71	602,26	625,84	597,22	478,18	419,34	348,32
Rendimiento del colector (%)	13,98	27,09	34,57	41,30	46,52	51,33	55,92	56,45	51,36	42,29	33,35	19,79

Aportación solar por m2

Conocida la energía total teórica y el rendimiento del colector, se puede calcular ahora la energía útil recibida del sol.

$$E_N = \eta \cdot E$$

Donde:

E_N = Aportación solar por m2 (MJ/m2)

η = Rendimiento

E = Energía teórica recibida por el sol.

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
E_N	1,29	3,47	5,19	7,31	8,62	9,97	11,52	12,08	9,94	6,55	4,03	1,86

Energía neta disponible mensual por m2 de colector solar.

La energía calculada en el apartado anterior no estará disponible por completo sino que se verá reducida por varios factores como pérdidas de calor en las conducciones, pérdidas en el intercambiador, etc. Luego, aplicaremos un factor de reducción de valor 0,85 a la aportación solar por m2.

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía E (MJ/m ² /día)	9,26	12,81	15,02	17,69	18,53	19,42	20,6	21,4	19,35	15,49	12,08	9,4
Rendimiento del colector (%)	13,98	27,09	34,57	41,30	46,52	51,33	55,92	56,45	51,36	42,29	33,35	19,79
Aportación solar por m ²	1,29	3,47	5,19	7,31	8,62	9,97	11,52	12,08	9,94	6,55	4,03	1,86
Energía neta al día que aporta cada m ² de panel (MJ)	1,10	2,95	4,41	6,21	7,33	8,47	9,79	10,27	8,45	5,57	3,42	1,58
Energía Neta al mes que aporta cada m ² de panel (MJ)	34,11	82,61	136,82	186,32	227,15	254,18	303,54	318,32	253,44	172,61	102,72	49,01

Luego:

La energía neta anual por m² de colector solar = 2120,84 MJ/m²

Superficie colectora necesaria.

La hipótesis de cálculo de este método es que la superficie disponible óptima surge de igualar el volumen energético anual consumido, con el volumen energético anual aportado, aunque exista desfase entre ambos (sobreproducción en verano y falta en invierno).

Por tanto, la superficie colectora surge de dividir las necesidades energéticas totales entre la energía neta disponible.

Tenemos entonces:

-Total energía neta anual por m² de colector solar: 2120,84 MJ/m²

-Necesidad energética anual: $15008 \times 0,7 = \underline{10505,6 \text{ MJ}}$.

Luego:

Superficie colectora = $10505,6/2120,84 = 4,95 \text{ m}^2$

Y como cada panel tiene una superficie colectora de 2,6 m², el número de paneles será igual a:

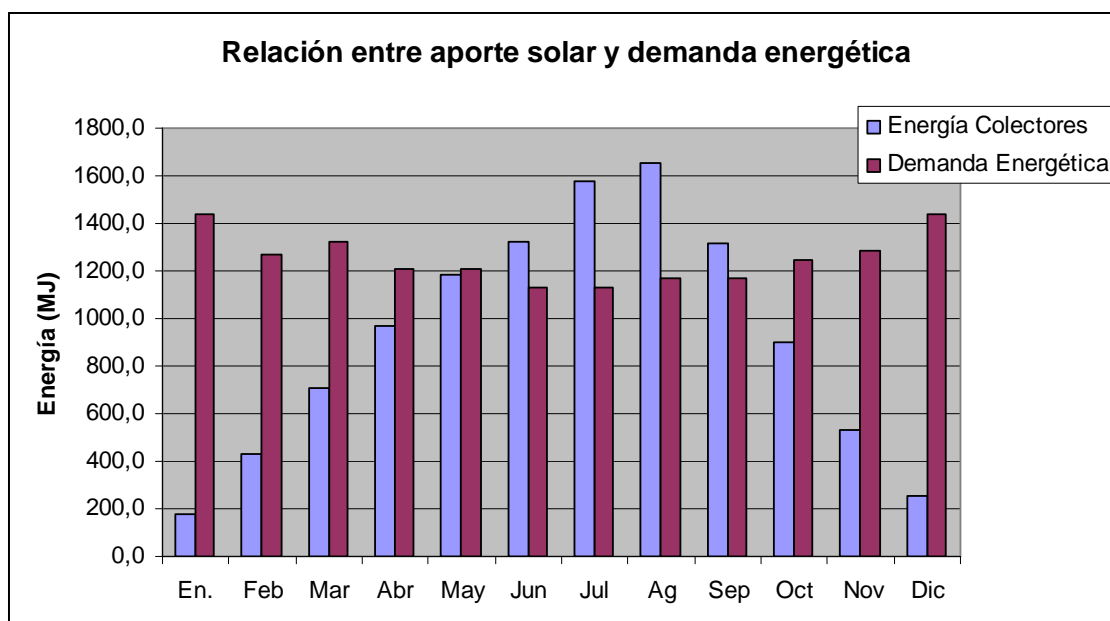
$$4,95/2,6 = 1,9 \text{ paneles}$$

Como los paneles no se pueden partir tomaremos 2 paneles.

Porcentaje de aportación solar.

El porcentaje aportación solar nos indicará el % de consumo de ACS que conseguiremos cubrir en cada mes a través de la instalación de energía solar.

Mes	En.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía total aportada por colectores (MJ)	177,4	429,6	711,5	968,9	1181,2	1321,8	1578,4	1655,2	1317,9	897,6	534,2	254,9
Energ. Nec. Al mes (MJ)	1440,7	1266,1	1323,9	1205,9	1207,1	1130,5	1129,2	1168,2	1168,2	1246,1	1281,2	1440,7
% Sustitución	12,31	33,93	53,74	80,35	97,85	116,92	139,78	141,70	112,82	72,04	41,69	17,69



2 colectores x 2,6m² = 5,2 m².

Teniendo en cuenta lo que dice el **DB HE Ahorro de Energía HE 4 -2** que en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110% de la demanda energética o en mas de 3 meses seguidos el 100% se deberán adoptar una serie de medidas, como disipar dichos excedentes a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario o el tapado parcial del campo de captadores.

Elementos de la instalación.

Equipo solar compacto.

Como hemos visto en un apartado anterior, el nº de colectores necesarios en nuestra instalación es de 2. Es por esto por lo que hemos decidido instalar un equipo compacto por termosifón de dos colectores. La superficie de captación total será de $2 \times 2,6 = 5,2 \text{ m}^2$.

Nos hemos decidido por el modelo Escosol con depósito de 300 l.



Especificaciones técnicas del equipo compacto.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

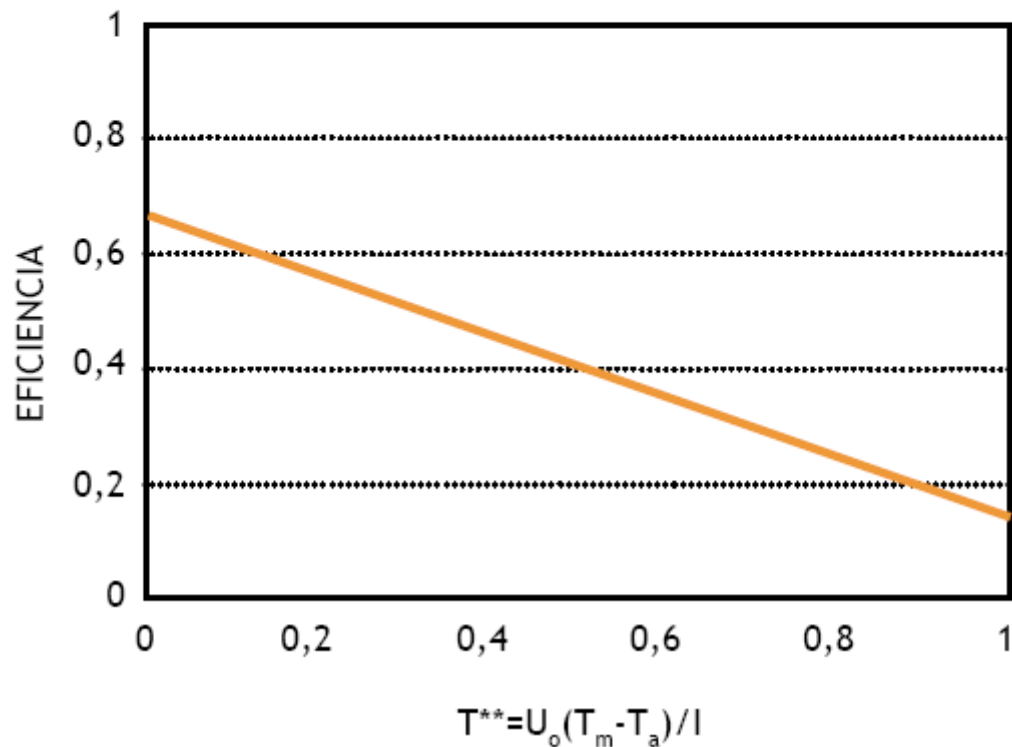
MODELO ESCOSOL	TANQUE			COLECTOR				Presión	SOPORTE	EQUIPO COMPLETO	
	Medidas mm	Peso kg	Presión De prueba	Medidas mm	Colectores	Area m²	Peso kg			Peso kg	peso kg vacío lleno
120	530x1100	52	2080 kPa (298 psi)	2050x1010x90	1	2.1	41.7	2080 kPa(298 psi)	26	119.7	229.7
160	530x1320	62	2080 kPa (298 psi)	2043x1265x90	1	2.6	52.59	2080 kPa(298 psi)	27	141.59	291.59
200	570x1320	70	2080 kPa (298 psi)	2043x1265x90	1	2.6	52.59	2080 kPa(298 psi)	27	149.59	339.59
200	570x1320	70	2080 kPa (298 psi)	2050x1010x90	2	4.2	41.7	2080 kPa(298 psi)	28	181.4	373.4
260	530x2050	103	2080 kPa (298 psi)	2050x1010x90	2	4.2	41.7	2080 kPa(298 psi)	30	216.4	466.4
300	570x2050	114	2080 kPa (298 psi)	2050x1010x90	2	4.2	41.7	2080 kPa(298 psi)	30	227.4	517.4
300	570x2050	114	2080 kPa (298 psi)	2043x1265x90	2	5.2	52.59	2080 kPa(298 psi)	30	249.18	539.18

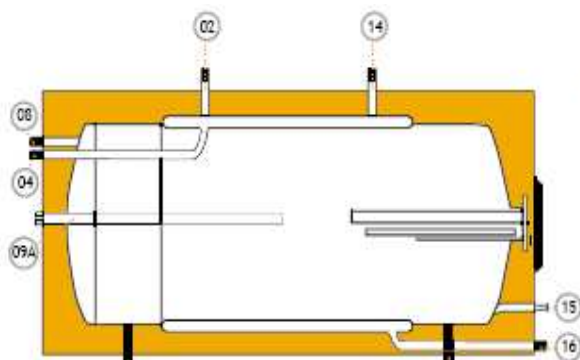
NOTA: La Empresa se reserva el derecho a modificar las especificaciones sin previo aviso.

Rendimiento de los colectores del compacto:

$$REND= 0,70 - 0,53 T^{**}$$

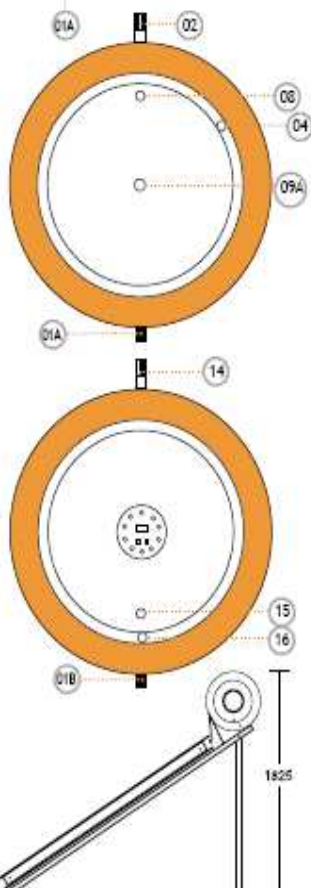
CURVA DE RENDIMIENTO INSTANTÁNEO ESCOSOL Mod. SOL 2500





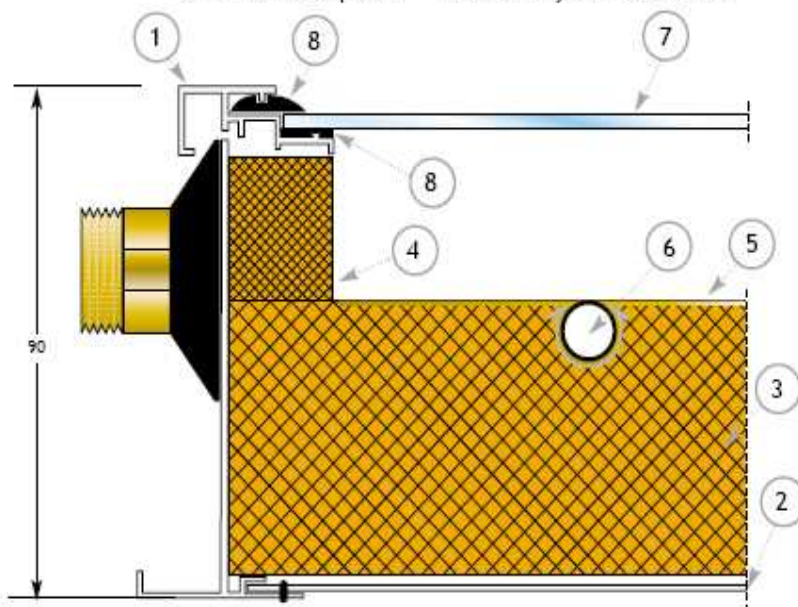
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACUMULADOR

- Cuerpo exterior : aluminio anodizado
- Aislamiento térmico : poliuretano inyectado de 40- 55 mm de espesor
- Interior del tanque : acero galvanizado de 3mm de espesor
- Doble envolvente : acero bajo en carbono de 1.5 mm de espesor
- Protección interior : vitrificado durosalt 80 -120 micrones
- Protección adicional : ánodo de magnesio
- Presión de prueba : 12 bar
- Apoyo eléctrico : resistencia blindada en cobre
- Termostato : bipolar de cuatro contactos
- Potencia eléctrica : disponible de 0.8 kw a 4 kw

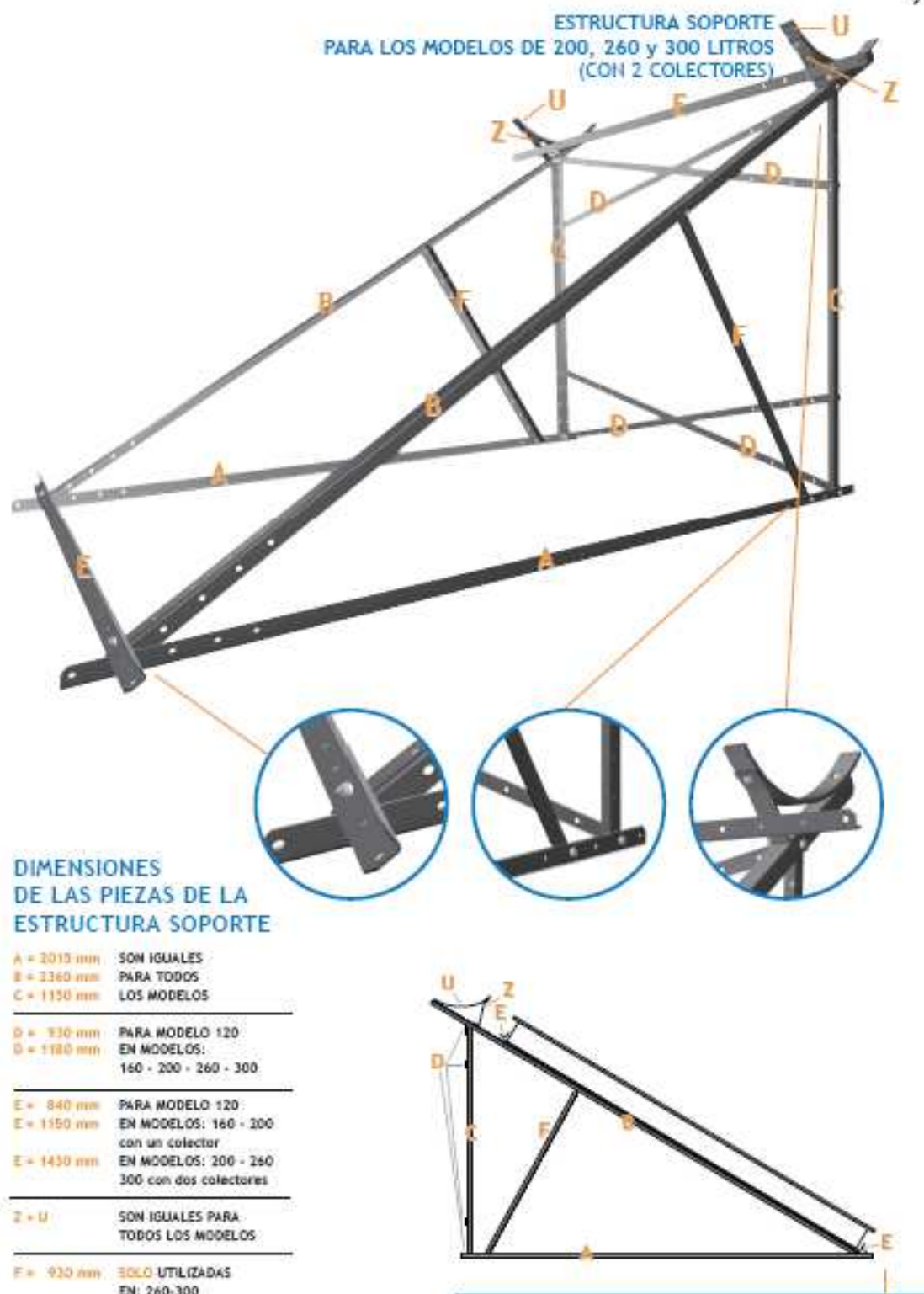


CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL COLECTOR

1. Marco exterior : Aluminio anodizado extruido
2. Exterior trasero : Chapa galvanizada 0.4 mm espesor
3. Aislamiento trasero : Lana de cerámica de 35 - 40 mm espesor
4. Aislamiento lateral : Lana de vidrio de 20 mm espesor
5. Absorbedor : Aletas de cobre o aluminio de 0.2 mm espesor (con pintura negra)
6. Parrilla de tubos : Tubo de cobre Ø 22 mm (horizontales) y Ø 8 -10 mm (ascendentes)
7. Parte frontal : Cristal 3,5 - 4 mm de espesor
8. Juntas de estanqueidad : Goma EPDM y silicona translúcida

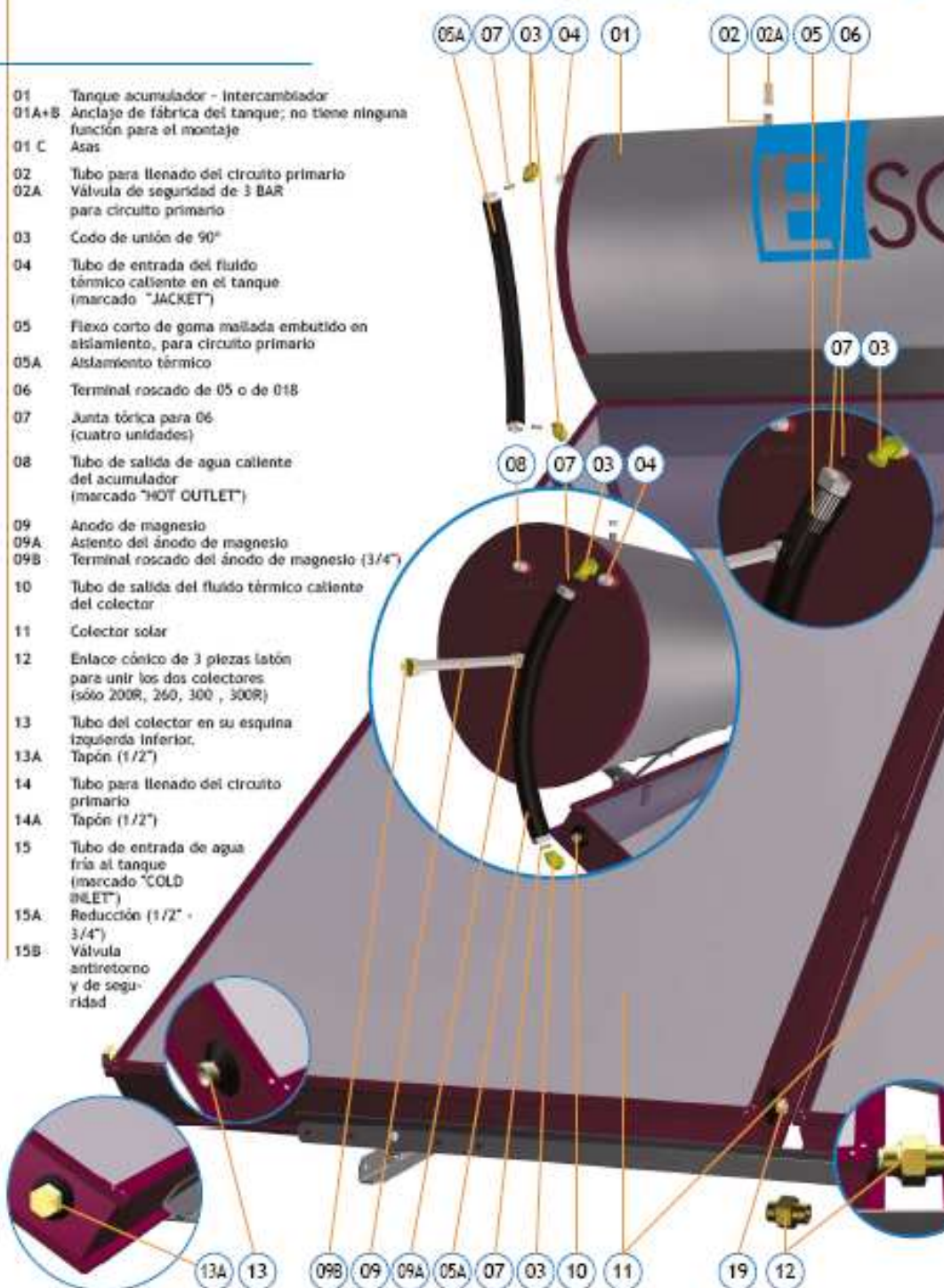


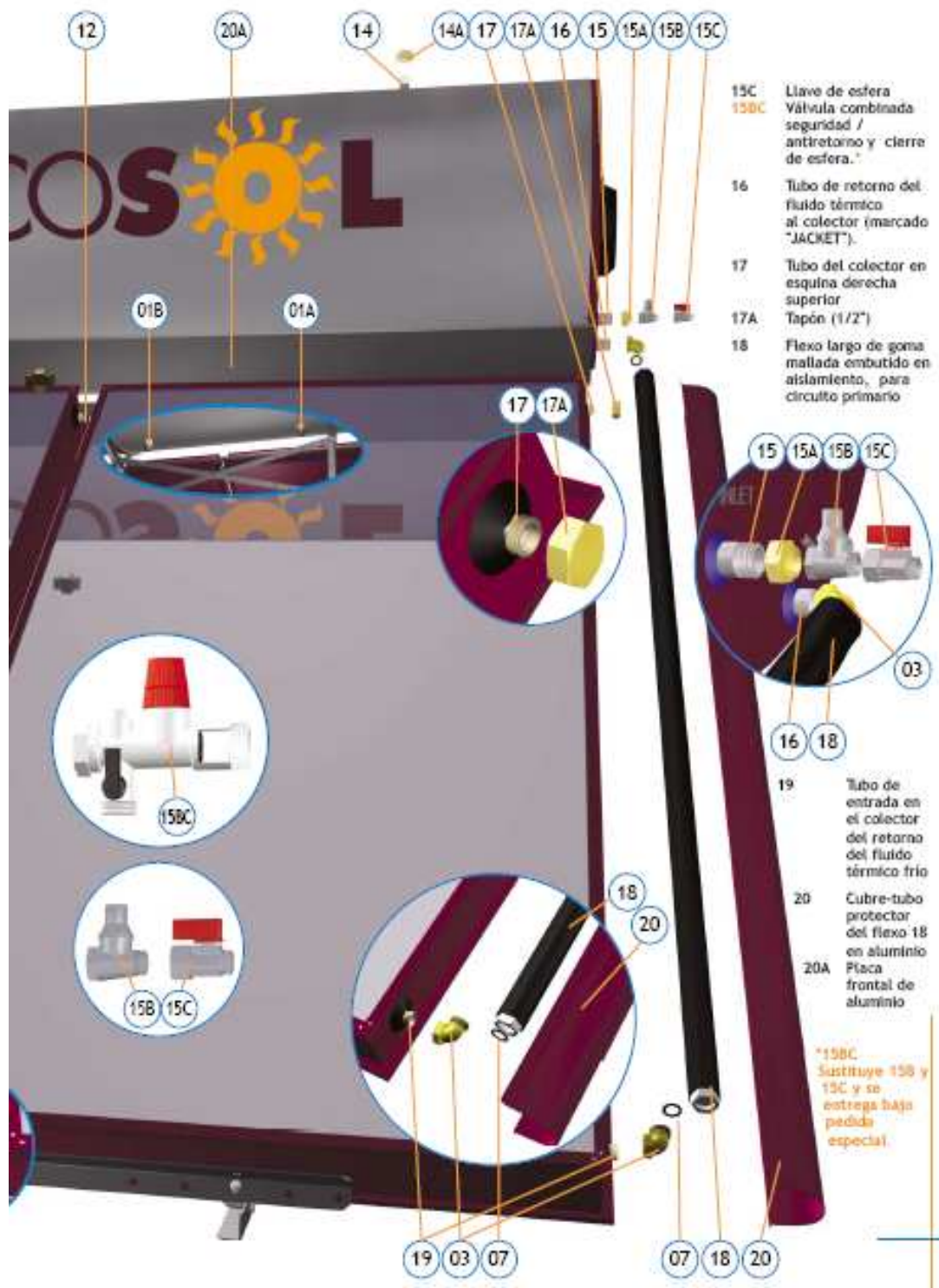
Montaje de la estructura soporte.



DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO ESCOSOL

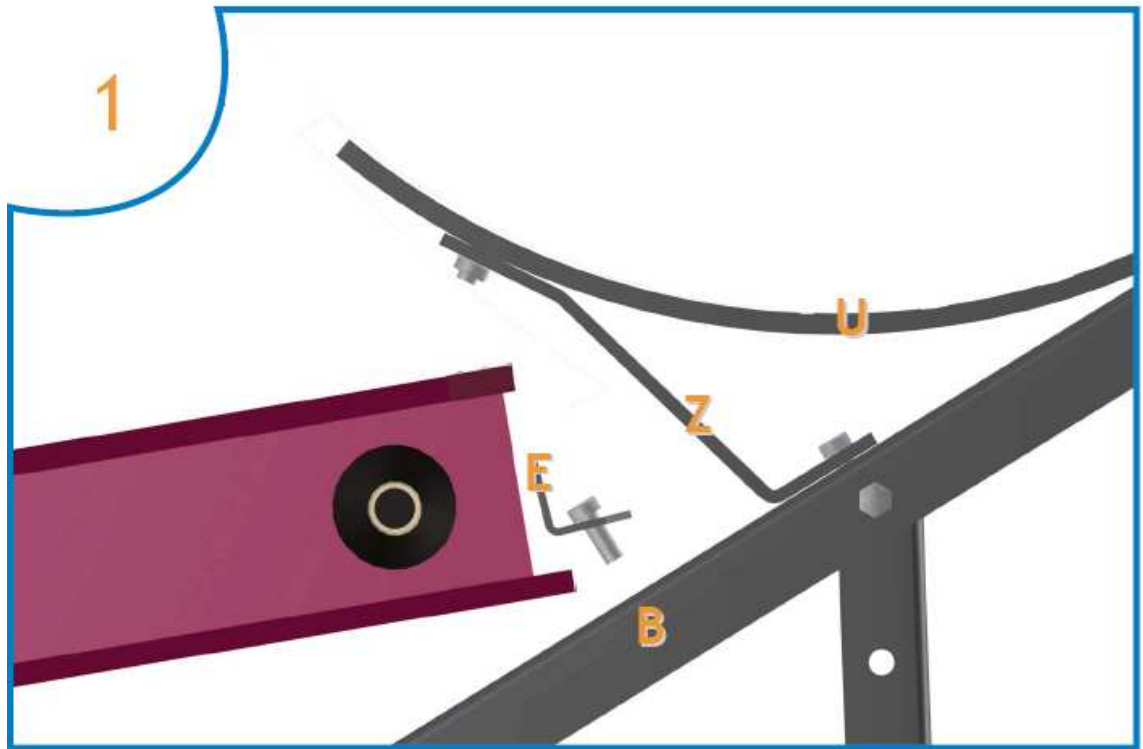
TANQUE, COLECTOR, ACCESORIOS DE CONEXIÓN.



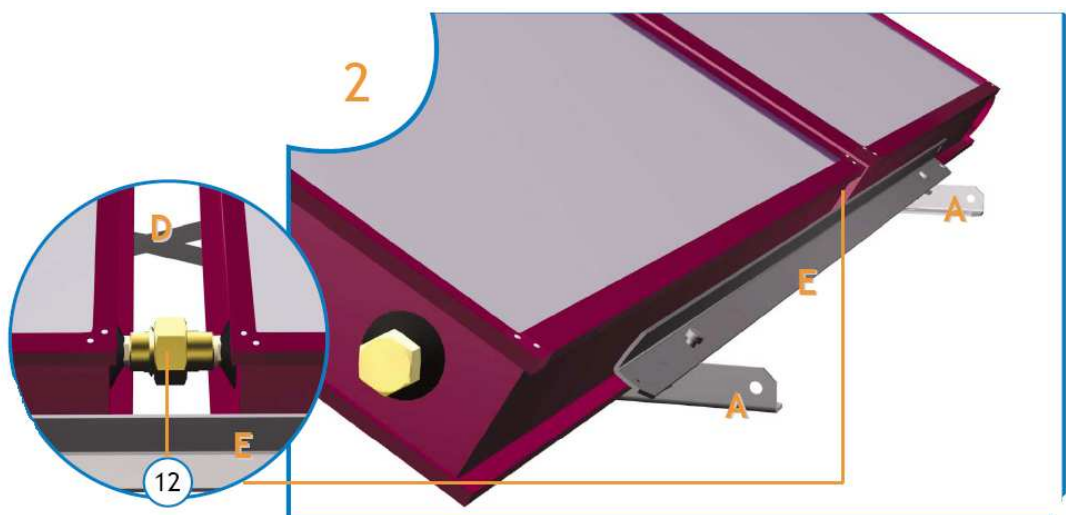


Montaje de colectores sobre estructura soporte.

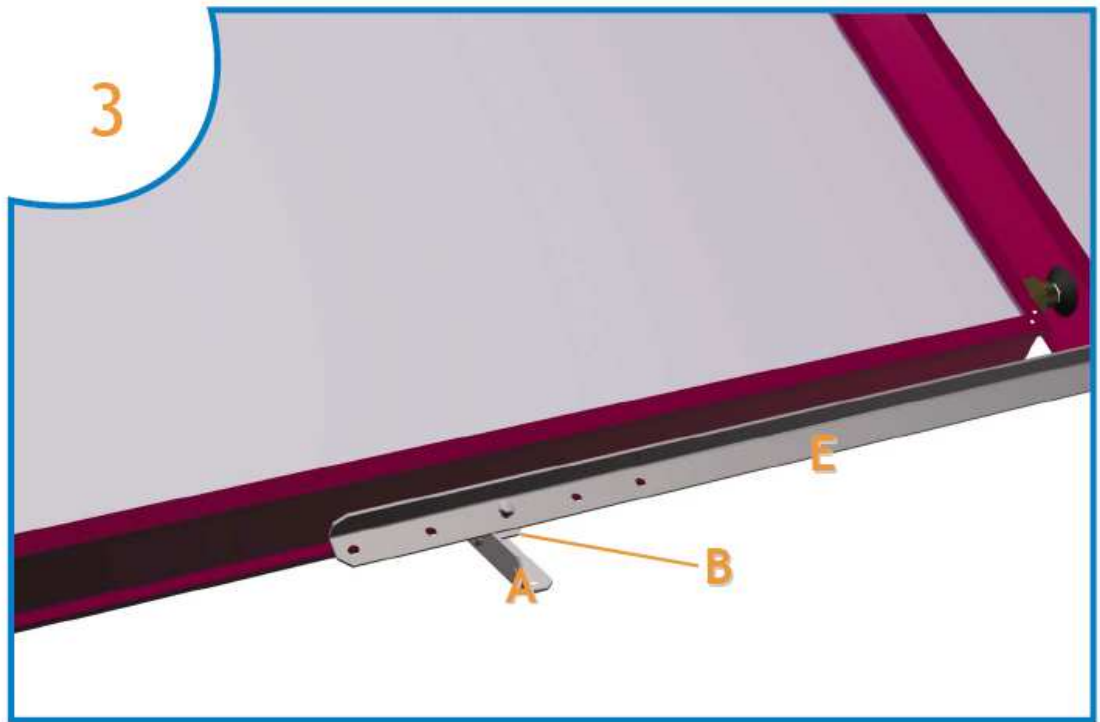
1. Antes de colocar los colectores sobre la estructura soporte hay que asegurarse que las tuercas de la pieza E inferior estén flojas, de forma que el perfil del colector se incorpore entre las piezas E y B.



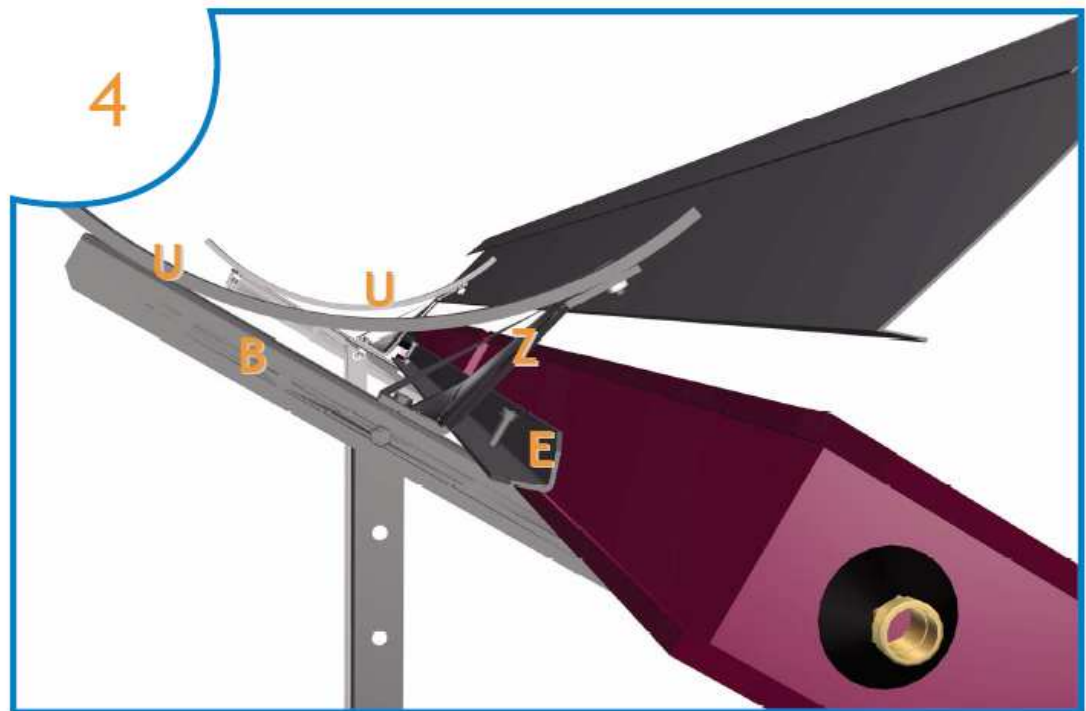
2. Hay que conectar entre sí los dos colectores en paralelo utilizando los enlaces cónicos de 3 piezas (12).



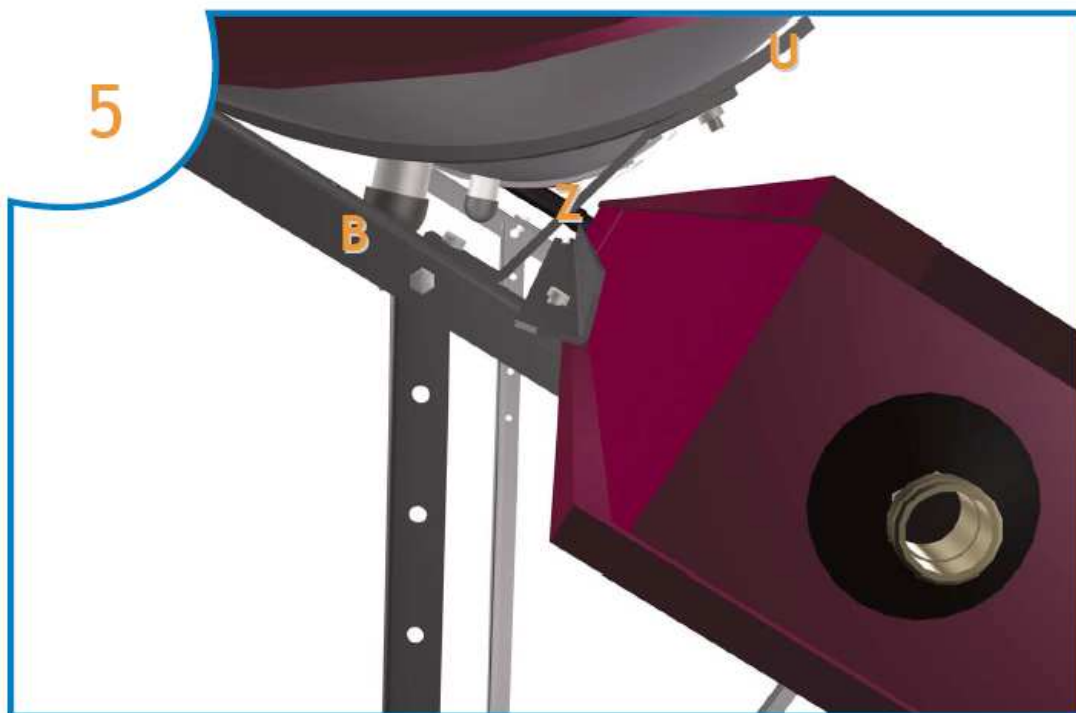
3. Asegurar la parte inferior de los colectores, apretando firmemente los tornillos dejados flojos de la pieza E inferior.



4. Montar la pieza E superior, apretando firmemente las tuercas que la unen con la pieza B, de forma que los colectores se firmen bien.



5. Una vez terminado, poner el tanque acumulador sobre las piezas U.



Eliminación de la resistencia eléctrica.

El equipo compacto viene de fábrica con una resistencia eléctrica incorporada en el depósito acumulador, que servirá de apoyo auxiliar para la generación de calor en caso de que no haya sol.

Esta resistencia eléctrica deberá ser eliminada como fuente de apoyo ya que así viene reflejado en el CTE-HE4 punto 4 del apartado 3.3.3.2:

*“No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones. **Para los equipos de instalaciones solares que vengan preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.**”*

Debido a esto debemos prever otro sistema auxiliar que en nuestro caso consistirá en una caldera.

Depósito acumulador. Determinación del volumen de acumulación necesario.

- RITE nos condiciona que el volumen de acumulación cumpla:

$$\begin{aligned}0.8 \cdot M &\leq V \leq M \\ V &\leq 80 \cdot A\end{aligned}$$

- CTE nos condiciona que el volumen de acumulación sea:

$$50 < V/A < 180$$

- SODEAN nos recomienda que el volumen de acumulación cumpla:

$$0.8 \cdot M \leq V \leq 1.2 \cdot M$$

Donde:

M = Consumo medio diario en los meses de Verano en l/d = 305 l/d

A = Suma total del área de los colectores en m² = 5,2 m²

V = Volumen total de acumulación en litros

Por todo ello vemos que volumen de acumulación deberá estar comprendido entre

$$\text{RITE} \rightarrow 244 \leq V \leq 305$$

$$\text{CTE} \rightarrow 260 \leq V \leq 936$$

$$\text{SODEAN} \rightarrow 244 \leq V \leq 366$$

Se fija una capacidad de acumulación de 300 litros distribuida en un solo acumulador, que corresponden a una relación de almacenamiento de 57.7 litros por metro cuadrado de colector solar.

Este depósito verterá su agua a otro depósito, que será el depósito auxiliar, de xx litros, donde se deberá almacenar el agua a 60°C. Cuando no se alcance esta temperatura mediante energía solar, se alcanzará mediante el sistema auxiliar de apoyo.