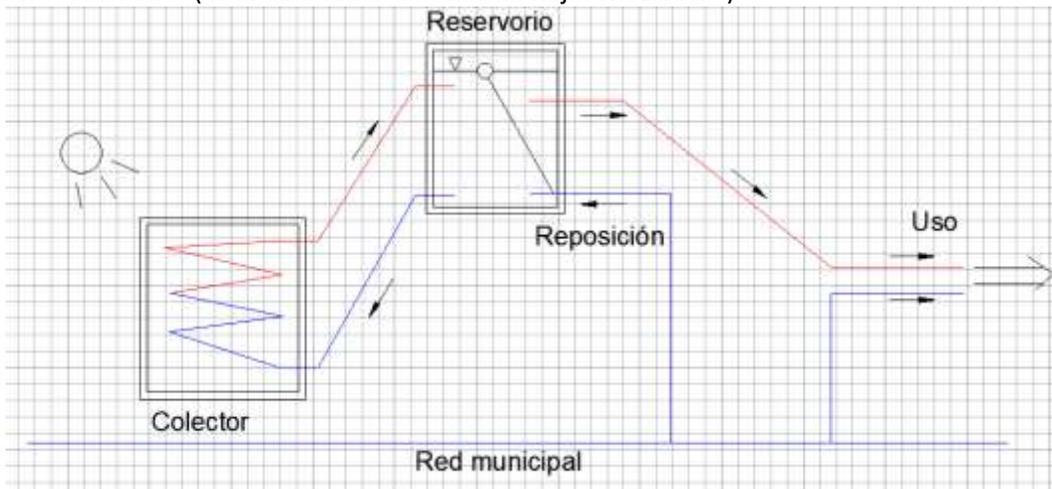


Calentador de agua solar - detalles de desarrollo técnico

1. Notas generales, de acuerdo a los equipos DIY observados
 - 1.1. En todos los casos se requiere un tanque o depósito de agua superior como reservorio de calor
 - 1.2. Tanto el colector como el reservorio de calor y opcionalmente las tuberías de agua caliente estarán aisladas térmicamente
 - 1.3. La temperatura dependerá de las condiciones de funcionamiento y del diseño del equipo, generalmente 60°C puede ser aceptable, sin embargo, debe existir alguna forma de controlar la temperatura en su punto de uso, por ejemplo, en duchas, para ello, lo más adecuado es derivar una corriente de agua fría y mezclarla mediante dos llaves.
 - 1.4. La autonomía del reservorio de calor puede estar entre 08 y 16 horas, dentro del cual se mantiene caliente el agua luego de cesar la luz solar
 - 1.5. Opcionalmente, se puede contar con un tanque de agua fría a mayor altura que el equipo, para garantizar la presión en caso de faltar el servicio de agua. Este tanque adicional no tiene que estar aislado térmicamente.
 - 1.6. Los recipientes generalmente usados para el agua caliente, son tambores de 200 litros, lo cual puede suplir una familia de 04 personas, para un consumo promedio de 50 a litros por persona diario.
 - 1.7. Por lo general, el reservorio de calor funciona como un intercambiador de calor de tipo 'de mezcla', en donde se unen los flujos del colector y del uso. Existe una excepción para el desarrollador OpenSourceLowTech (Id 6 de la lista), en el cual se incluye un serpentín que mantiene dichos flujos separados (ver diagramas más adelante).
 - 1.8. El desarrollador AIDG (Id 5 de la lista), entre otros, incluyen una válvula flotante para reponer el agua del reservorio de calor, o agua de reposición, la cual entra por la parte de abajo del mismo.
 - 1.9. En todos los equipos DIY revisados, el reservorio trabaja a presión atmosférica (no presurizado)
 - 1.10. En algunos equipos comerciales, se incluye un elemento calefactor de respaldo (calentador o resistencia eléctrica), para casos en los que baje la eficiencia del equipo, como días nublados, sin embargo, se descarta esta opción, ya que la idea es fabricar un equipo autónomo para zonas tropicales donde por lo general hay luz solar en el horario diurno.
 - 1.11. Otros detalles como los materiales, configuraciones del colector, entre otros, se pueden observar en la hoja de detalles técnicos del documento de Excel respectivo.

2. Diagramas de instalaciones típicas (circuitos de agua, no incluye llaves de paso)

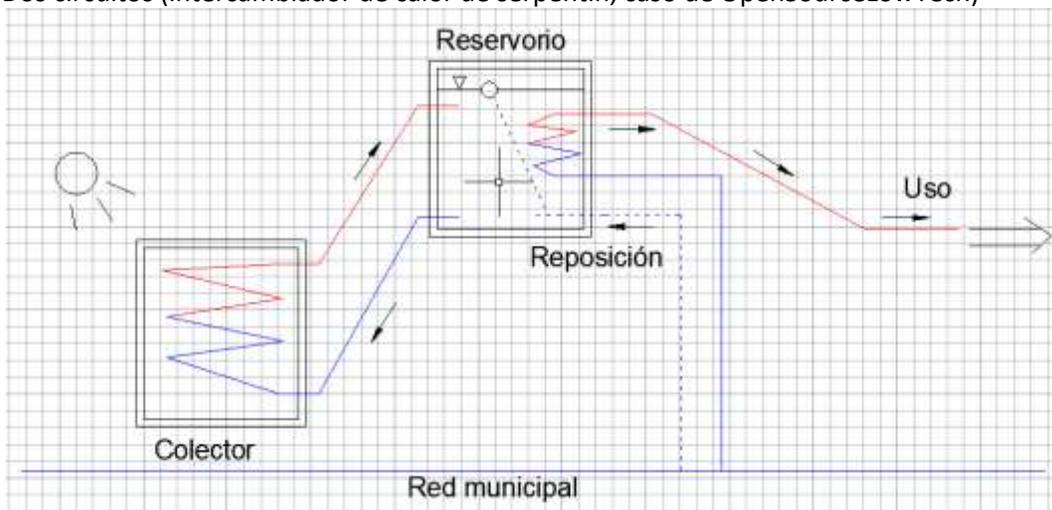
2.1. Un solo circuito (Intercambiador de calor de flujos mezclados)



- aquí todo el sistema está con la presión de la red

- se necesita una bomba para forzar el agua por el colector?

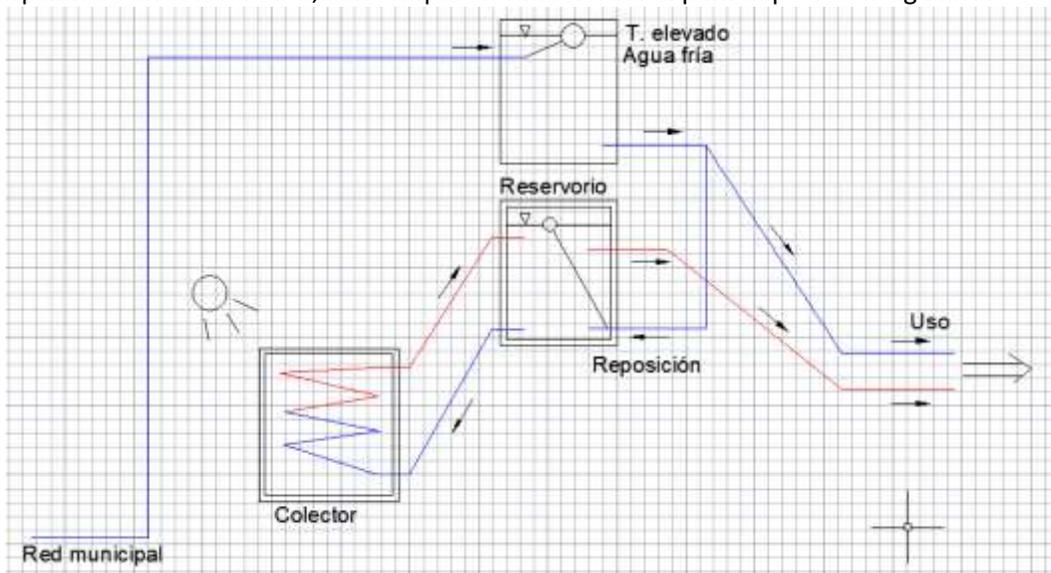
2.2. Dos circuitos (intercambiador de calor de serpiente, caso de OpenSourceLowTech)



- aquí solo el sistema de agua de uso está con la presión de la red, el circuito del colector puede ser con una bomba o por gravedad

- no me parece práctico, porque el agua de uso no se va a calentar tan rápido, es decir, después de vaciarse la serpentina del agua de uso va a salir medio fría

2.3. Opción de un solo circuito, con tanque elevado adicional para depósito de agua fría



2.4. La opción 2.3 es preferible, ya que el intercambio de calor en el reservorio tiene un mejor tiempo de respuesta en comparación con un sistema de serpentín y al mismo tiempo garantiza disponibilidad de agua fría, tanto para uso como para reposición del reservorio de calor.

3. Información teórica revisada

Se realizó una revisión detallada de parte de la información teórica disponible, en donde se pudo analizar algunos aspectos de importancia para tenerlos en cuenta durante este desarrollo

3.1. Tipos de colector

- 3.1.1. Integral, Colector-tanque (ICS)
- 3.1.2. Placas planas (con tubos en caja)
- 3.1.3. Tubos de vacío
- 3.1.4. Combinaciones de los anteriores
- 3.1.5. Otros: Espirales, colectores de piscinas...

3.2. Numero de circuitos

- 3.2.1. Directo: 1 circuito, abierto
- 3.2.2. Indirecto: 2 circuitos, cerrado

3.3. Flujo en colector

- 3.3.1. Por bomba, Activo
- 3.3.2. Termosifón, Pasivo

3.4. Flujo en tubería de uso

- 3.4.1. A la presión de la red municipal
- 3.4.2. Bomba y tanque presurizado

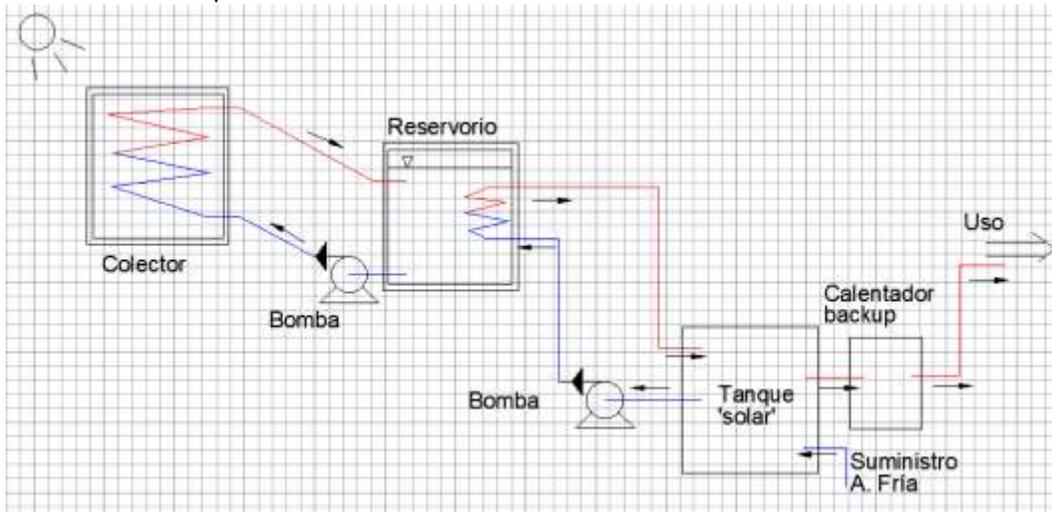
3.5. Medidas para climas fríos

- 3.5.1. Evacuación de tuberías y colector (Drainback)
- 3.5.2. Uso de glicol

3.6. Calentamiento de backup

- 3.6.1. Calentador adicional a gas o eléctrico, con tanque
- 3.6.2. Calentador adicional sin tanque
- 3.6.3. Resistencia auxiliar dentro del reservorio de calor

3.7. Diagrama adicional extraído de la información revisada, para sistemas presurizados y con calentador de respaldo:



Este sistema requiere del uso de intercambiadores de calor, lo cual implica mayores caudales de trabajo e incrementa la complejidad del sistema con respecto a sistemas abiertos.

4. Circuitos de agua, ejemplos comerciales, teniendo como referencia, los calentadores integrales (ICS), llamados termotanque solar o calefón solar en Latinoamérica. Al respecto se consiguieron varios casos de empresas Argentina, incluyendo de mercadolibre, por las condiciones climáticas particulares.

4.1. <https://www.youtube.com/watch?v=YdM9TgzRc9A>



Este ejemplo, muestra un modelo comercial de termotanque integral (incluye el recipiente de agua caliente); funciona bajo el principio de termo-sifón, definido como pasivo, por lo cual no requiere bombas del lado del colector. Asimismo, consiste en un solo circuito que funciona a la presión de la red (minuto 0:42)

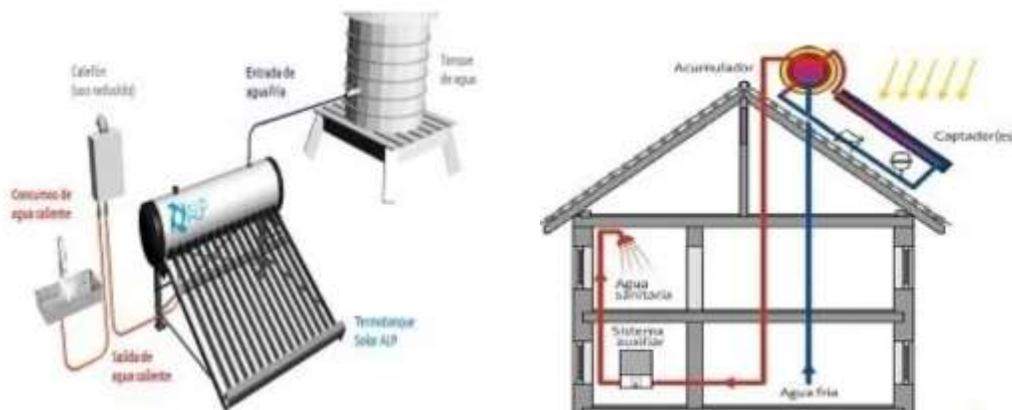
4.2. https://www.youtube.com/watch?v=TSmvXHf_6n4



Esta equipo, similar al caso anterior es un termotanque integral de un solo circuito, el cual se

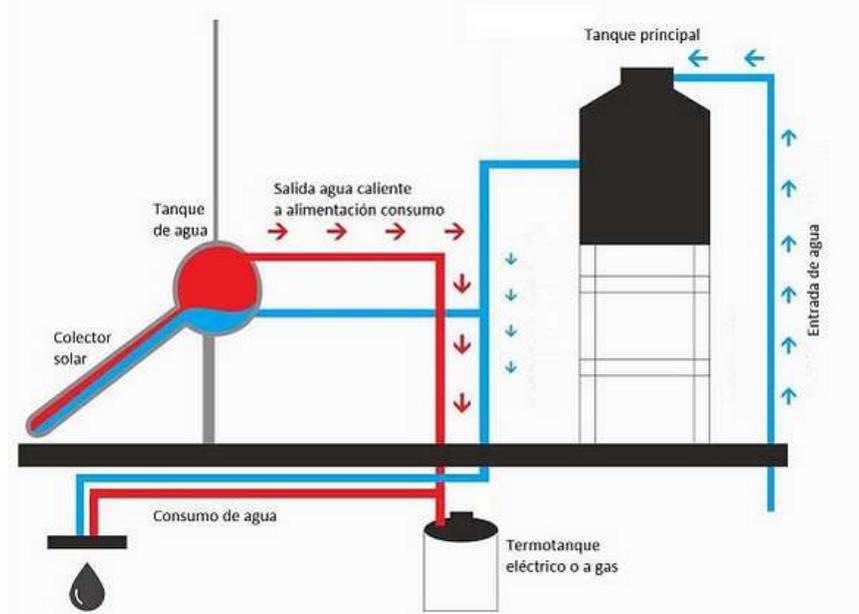
surte de un tanque o reservorio de agua fría, por lo cual funciona por gravedad, gracias a que el reservorio está a una altura apenas superior al equipo, el circuito no está presurizado.

4.3. <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-611841428-termotanque-solar-220-electrico-termo-solar-calefon-solar- JM>



Este modelo comercial de la compañía Arsolar de Argentina, es un termotanque atmosférico de tubos al vacío, que no usa bombas, como lo explican en su video adjunto, por lo que tampoco está presurizado, el mismo consta de un solo circuito y requiere de un tanque de reserva o reservorio de agua fría, funciona por gravedad, se destaca el uso de tubos buzo o pescadores para ingresar el agua fría desde arriba y captarla caliente desde abajo, orden que se invierte en el interior del tanque.

4.4. <https://gruntech.com.ar/#!/-termica-2-3/>



La empresa Gruntech, de Argentina, ofrece principalmente termotanques atmosféricos (observése el respiradero en el diagrama). Gruntech explica las ventajas de estos modelos, principalmente su bajo costo, ya que los tubos de vacío son totalmente de vidrio, mientras que los sistemas presurizados requieren tubos de vacío con interior de cobre, para soportar la presión de trabajo. Además indica que, los sistemas atmosféricos son utilizados como directos, de un solo circuito, mientras que los que usan tubos de cobre pueden ser usados como sistemas indirectos o de dos circuitos.

4.7. <https://www.maramani.com/blogs/home-design-ideas/how-to-choose-a-solar-water-heater>



En este enlace, se realiza una comparación entre sistemas presurizados y no presurizados, destacándose el ahorro de sistemas atmosféricos contra la confiabilidad en el caudal de sistemas con bomba, estos últimos se indican como indirectos (dos circuitos que no se mezclan).

4.8. <https://www.ebay.com/itm/294076018923>



Calentador de agua solar pasivo (por termosifón), con tanque no presurizado

5. Algunas estimaciones y datos de inicio.

5.1. Dilatación térmica, en caso de usar tubos de PVC.

$$DT := c \cdot (T1 - T2) \cdot L$$

$$c := 70 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K}$$

$$T2 := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T1 := 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L := 1 \text{ m}$$

$$DT = 0.0056 \text{ m}$$

La elongación por temperatura es despreciable y se puede adaptar el diseño a este efecto.

5.2. **Material para los tubos**

En los ejemplos DIY se utiliza generalmente plástico o hierro galvanizado, los cuales son accesibles en el mercado actual, para ello se realizó la siguiente comparación:

Tubos de PVC o Galvanizado Escala: 4. Excelente, 3. Bueno, 2. Regular, 1. Inadecuado

	PVC	Hierro galvanizado	Comentarios
Higiene	4	2	El PVC responde mejor a la corrosión, microbios, olores y sabores
Flexibilidad	4	2	El PVC se adapta mejor a distintos diseños, torsiones, impactos y al golpe de ariete.
Instalación y transporte	4	3	El bajo peso del PVC agiliza su manipulación, PVC: 0.4 kg/m Vs Galvanizado 2.41 kg/m (6 veces)
Costo	4	1	Pavco agua caliente: 25\$ Vs Galvanizado ISO: 120\$ (4.8 veces)
Durabilidad estimada	3	4	PVC: 40 a 50 años Vs Galvanizado: 50 a 100 años (el doble)
Puntaje total	3.8	2.4	Se prefiere el tubo de PVC >> ok

El fenómeno térmico se omite de esta comparación, ya que un régimen estable se alcanza rápidamente; aun así, se favorece el uso del PVC, ya que permite conservar mejor el calor captado por radiación que pudiera disiparse por convección natural dentro del colector, al tener una menor conductividad térmica.

5.3. Geometría del colector

Para este aspecto, se usarán algunos datos de este trabajo:

<https://core.ac.uk/download/pdf/60424712.pdf>

5.3.1.1. Energía solar incidente: $Q_s = 916.18 \text{ W/m}^2$ ok

5.3.1.2. Eficiencia del Colector: $\text{eff} = 0.6$ ok

5.3.1.3. Calor efectivo: $Q_e = Q_s \cdot \text{eff} = 550 \text{ W/m}^2$ ok

5.3.1.4. Cálculo de la superficie requerida para el colector

Se tomará como temperatura del agua caliente: 60°C , ver fuente:

[https://www.mendoza-](https://www.mendoza-conicet.gov.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf)

[conicet.gov.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf](https://www.mendoza-conicet.gov.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf)

$$Q := m \cdot cp \cdot (T_c - T_f)$$

$$m := 200 \text{ kg}$$

$$cp := 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$T_f := 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_c := 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.3456 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$A_c := \frac{Q}{Q_e \cdot t}$$

$$t := 6 \text{ hr}$$

$$A_c = 2.8162 \text{ m}^2$$

Q: Calor cedido al tanque

m: masa de agua a calentar

cp: calor específico

Tc: Temperatura de agua caliente

Tf: Temperatura de agua fría

t: tiempo del proceso

Será conveniente usar una lámina completa de $1.20 \cdot 2.40 \text{ m}$ ok >> ok

5.4. Disposición del tanque, vertical u horizontal

El objetivo principal del tanque es mantener el agua caliente separada del agua de reposición a menor temperatura, lo cual se logra, mediante un proceso de estratificación que ocurre de manera natural, mientras exista una diferencia de temperatura en su interior y los fluidos no se estén agitando.

Al respecto se investigó un poco, obteniendo lo siguiente:

Información	Fuente
En acumuladores verticales, el diferencial de temperaturas puede llegar a ser de 15°C . En acumuladores horizontales, el diferencial baja a sólo 4-5 grados Celsius	https://solar-energia.net/energia-solar-termica/agua-caliente-sanitaria/termosifon
La eficacia de la estratificación del tanque horizontal es considerablemente menor que la del tanque vertical. Por lo tanto, la orientación vertical es el diseño eficiente para un tanque de almacenamiento estratificado	https://www.researchgate.net/figure/Evolution-of-stratification-number-for-both-horizontal-and-vertical-tanks_fig10_273511935

Por lo tanto, será preferible una disposición vertical. >> ok

La ventaja de una disposición horizontal es hacer el sistema más compacto, en el caso de equipos comerciales.

5.5. Espesor mínimo del aislante (lana de fibra de vidrio)

Asumiendo que todo el calor perdido se disipa por la lámina posterior:

$Q_p := Q_s \cdot (1 - eff)$	Qp: Calor perdido
$Q_p = 366.472 \frac{W}{m^2}$	k: Conductividad
	Ti: Temperatura interna
	Te: Temperatura externa
	es: Espesor
$Q_p = \frac{k \cdot (T_i - T_e)}{es}$	
$es := \frac{k \cdot (T_i - T_e)}{Q_p}$	
$T_i := 110 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Duffie, p841)}$	
$T_e := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$	
$k := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$	
$es = 9.8234 \text{ mm}$	

Con espesores mayores se mejora la eficiencia térmica, **89% para 38mm?** este valor será menor ya también habrán pérdidas por los laterales y por el mismo frontal, sin embargo sirve como dato de referencia.

Además de la fibra de vidrio, se suele utilizar paneles de poliuretano, los cuales presentan un mejor aislamiento térmico (k de 0.022 a 0.035 W/mK), se pueden adquirir con más espesor y facilitan la fabricación



colorScan_Solar-Water-Heater_3_2019.pdf - Adobe Acrobat Reader DC (64-bit)

Datei Bearbeiten Ansicht Unterschreiben Fenster Hilfe

Start Werkzeuge colorScan_Sol_*

Anmelden

20/10/2011

Solar Water Heaters in Nepal (SKAT, 19...

D:\sd\swb\sd\NoExe_\meister10.htm

169/235

Kurze Seite anzeigen

- PDF-Gate(e) exportieren
- PDF bearbeiten
- PDF erstellen
- Konvertieren
- Dateien zusammenführen
- Seiten organisieren
- PDF komprimieren
- Schwärzen
- Formulare
- Dokumenteigenschaften anfe...
- Ausfüllen und unterschreiben
- Zum Kommentieren senden
- Mehr Werkzeuge

PDF-Dokumente und -formulare erstellen, bearbeiten und elektronisch signieren

7 Tage kostenlos testen

5.6. Tipo de tanque

Además de muchas de las ventajas mencionadas para los tubos de pvc, se recomienda recipiente plástico ya que favorece, los procesos de fabricación y refuerza un poco el aislamiento térmico.

Material	HDPE
Capacity	120 , 200L
Technology	Blow Molding

Capacity	Diameter	Height	Mouth Diameter	Weight
120L	500mm	735mm	57mm	7.0kg
200L DR	586mm	920mm	57mm	9.0kg
200L SR	586mm	920mm	57mm	8.5kg
200L WHITE	586mm	970mm	57mm	9.5kg
Other Custom	/	/	/	✓

Manual measurement, slight error



Se prefiere la opción de 200L, ya que se ubica mejor en el mercado

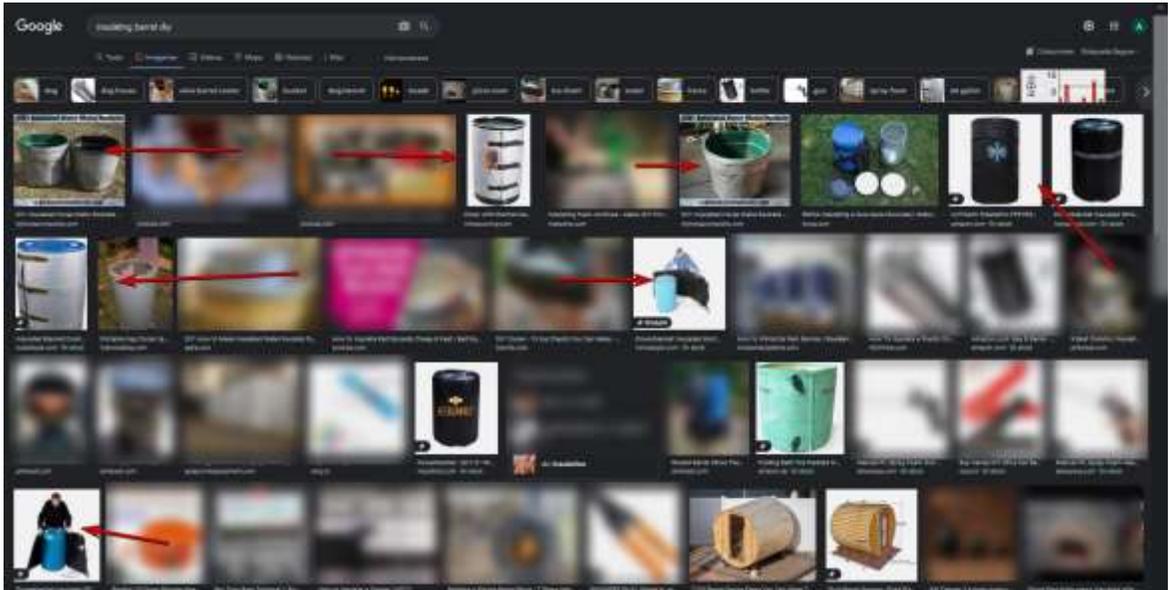
↘ **Each m² of collector area, should heat approximately 8 liters of cold water (starting with cold water of approximately 15 to 20 Centigrade) to a temperature of 50 to 65 Centigrade during one hour's full sunshine.**

(tomado de colector Skat_Solar-Water-Heater _SL_SO29.PDF)

De acuerdo a esto, un colector de 1.6m² puede producir 102.4 litros de agua caliente, en un día de 08 horas de sol.

5.7. Pared externa del tanque

Se pensó inicialmente en usar doble recipiente (metálico por fuera), pero esto dificulta la fabricación y reduce el volumen de agua a almacenar. Luego se revisaron casos reales, consiguiendo habitual el uso de ‘chaquetas’, las cuales se pueden elaborar con la misma lana de fibra de vidrio recubierta con tela.



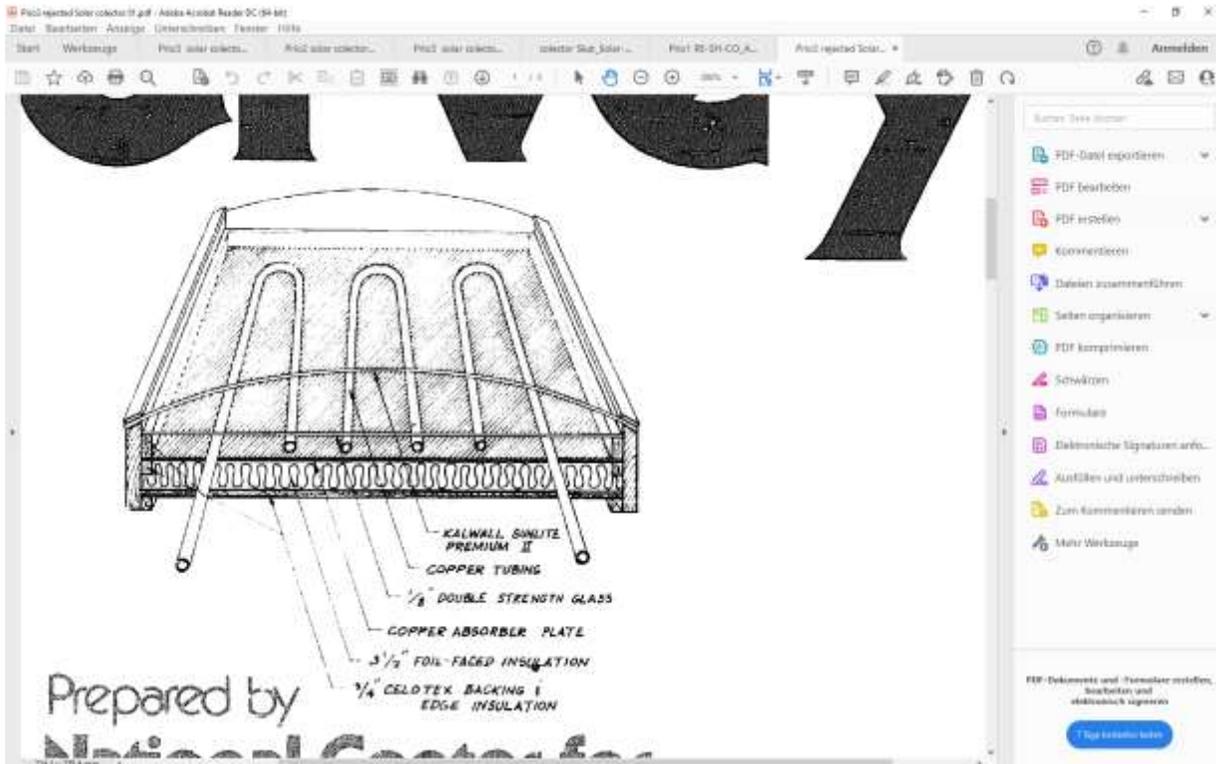
Requeriría una tela resiste a la intemperie

Adicionalmente, se suele construir una caja externa con madera o metal, revestida con paneles aislantes, por ejemplo, de poliuretano.



5.8. Otros puntos de interés

5.8.1.



5.8.2. colector Skat_Solar-Water-Heater_SL_SO29.PDF

Experience shows that a minimum thickness of insulation of 100 mm should be maintained. To estimate the daily usage, a figure of approximately 25 to 40 liters of hot water per person may be used.

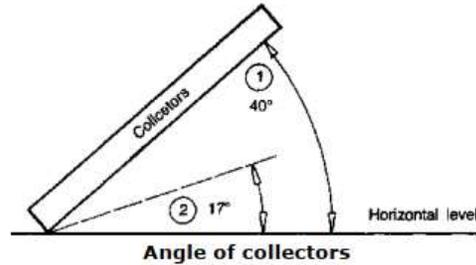
5.8.3. Diameter - the cold water inlet pipe to a hot water storage tank should never be smaller, in diameter than the hot water outlet pipe. In pressure systems a 0 1/2" pipe is in most of the cases sufficient, but in systems with less than 10 m head, when measured with a pressure gauge, or with greater supply demands, it is better to use a 0 3/4" or 0 1" pipe.

5.8.4. De: collector Skat_Solar-Water-Heater _SL_SO29.PDF:

from this direction may be up to 15 to 20 degrees to either side. It is preferable to have the deviation, if any, slightly towards the west, as the sun shines brighter in the afternoon than in the early morning (fog).

Angle -the angle of inclination of the collector to the horizontal should be 5 to 10 degrees more than the latitude of the location, with a minimum of 17°.

Example: The latitude of Kathmandu is 27°. $27^\circ + 10^\circ = 37^\circ$, so 37° is the recommended angle of installation (measured from the horizontal).

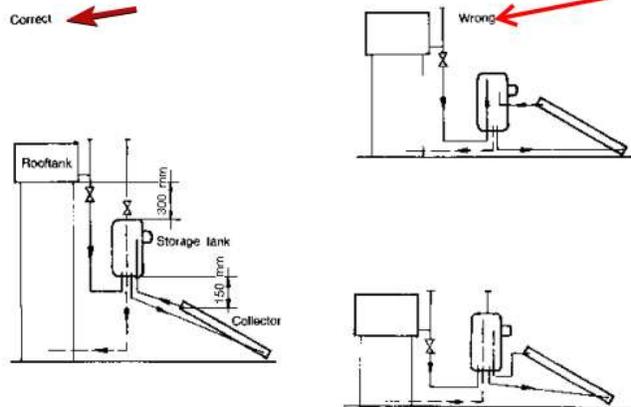


Note:

- 1) Angle of flat tank collectors should not be above 40°
- 2) Angle of thermosiphon systems should not be below 17°

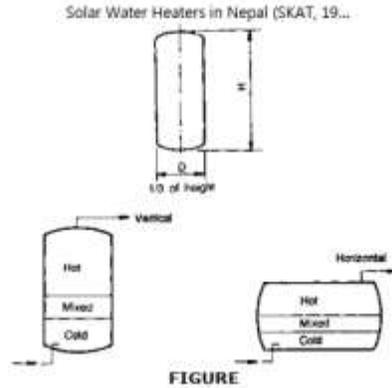
Each m² of collector area, should heat approximately 8 liters of cold water (starting with cold water of approximately 15 to 20 Centigrade) to a temperature of 50 to 65 Centigrade during one hour's full sunshine.

10) Drainage facility (tap, cap) for drainage of entire system.



Four common installation mistakes

20/10/2011



FIGURE

Types -there are vertical and horizontal types available. For solar hot water systems with thermo-siphon circulation the vertical position is essential for proper circulation and hot water availability.

Hot water availability: A vertical hot water storage tank will provide more liters of hot water (having a smaller volume of mixed water)

5.8.5. De: Infoblatt_Nr_34_Maerz_2011_Betriebssicherheit_thermischer_Solaranlagen.pdf

El concepto de utilizar una alta presión en el sistema para posponer el tiempo de ebullición y, por tanto, la formación de vapor en la medida de lo posible o incluso para evitarlo por completo, no ha tenido éxito en la práctica

El aislamiento del circuito solar también debe estar protegido en el exterior contra la humedad, la radiación UV y las mordeduras de pequeños animales. Se debe proporcionar una protección adicional o el material de aislamiento debe ser tal que se garantice la protección.



Marcas de mordeduras y picaduras



Falta de resistencia a los rayos UV

en regiones con agua muy dura, la limitación a 60 °C puede ser necesaria para protegerse de la cal. En este caso, el concepto del sistema debe adaptarse a las condiciones (por ejemplo, tanque de almacenamiento más grande, colector más pequeño, inyección más frecuente)

5.8.6. De: Prio2 solar colector .pdf

enough to withstand wind.

Wood used in collector and tank support stands must be protected against the elements. Especially if the stand is attached to the roof it is wise to build it with pressure treated wood. At the very least it must be well finished and maintained.

There are basically two options for the location of a solar hot water heater: freestanding on the ground or roof-mounted. Either of these locations may be used for a thermosiphon or a pump-type system.

If mounting a thermosiphon system at ground level, you will need a stand for the collectors (as shown in Figures 33 and 34), a stand and insulating cover for the storage tank, and piping to the domestic water system. If the system uses a pump, only a collector stand and piping are required for installation, since the tank (which still must be insulated) can be located inside the building shell. (Fig. 35)

Figure 33 Figure 34 Figure 35

something that will be a permanent fixture on the roof— including the collector panels and tank. Besides this, the roof must also be able to support a live load— such temporary loads as snow, rain, wind, and people. If you add the average dead load (about 10 lbs./ft²) to the legal minimum live load capacity (about 25 lbs./ft²) and subtract the total from the structural capacity of the roof, the remainder will be the excess capacity available for the water-heating system. These are the weights per square foot shown in the table opposite.

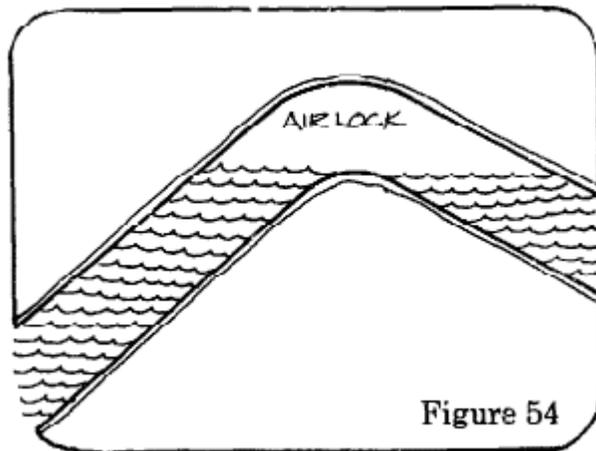
If your roof is a properly engineered truss-type built with 2x4's, it can support an average load of 10 pounds per square foot.

While checking the roof, you should note if there are signs of rot or insect damage. Rotting may be found where there is an unventilated attic space or a leaky roof. Damaged wood will give to pressure on its surface or show discoloration.

Don't add any load to a roof with damaged structure.

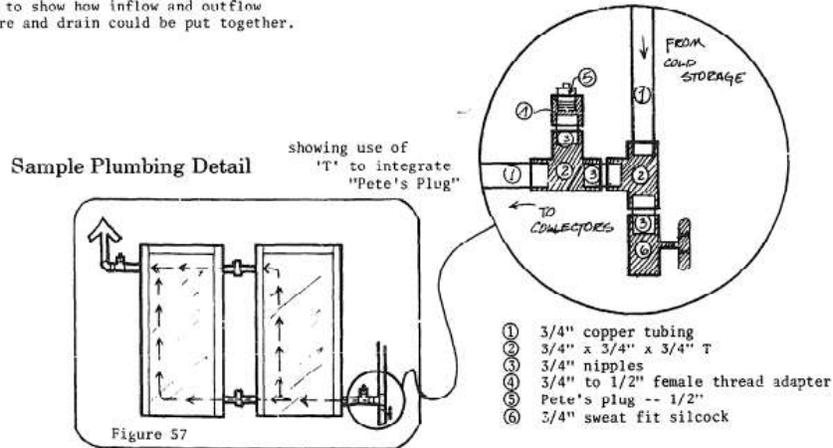
All figures in pounds per square foot.

Obstrucciones: En el bucle de termosifón es fundamental que las líneas discurren de forma constante en sentido descendente desde el depósito hasta el colector. Si la línea tiene un punto alto en el que se pueda acumular todo, se puede formar una esclusa de aire que detendrá el flujo en el sistema, como en la figura. Si un punto alto es inevitable, es importante poner una válvula de purga de aire en ese punto.



Debe haber una válvula de drenaje en el punto bajo (entrada) de los colectores para permitir el drenaje del bucle del colector y del tanque de almacenamiento. La válvula debe ser una llave de paso estándar con rosca para manguera. Si desea poder vaciar los colectores sin vaciar el tanque tendrá que poner una válvula de compuerta en la línea que viene del fondo del tanque.

etail to show how inflow and outflow
ardware and drain could be put together.



El tamaño del tanque de almacenamiento se determina por la superficie de su colector. La regla básica es de un galón a un galón y medio de capacidad de almacenamiento por cada pie cuadrado de superficie superficie del colector.

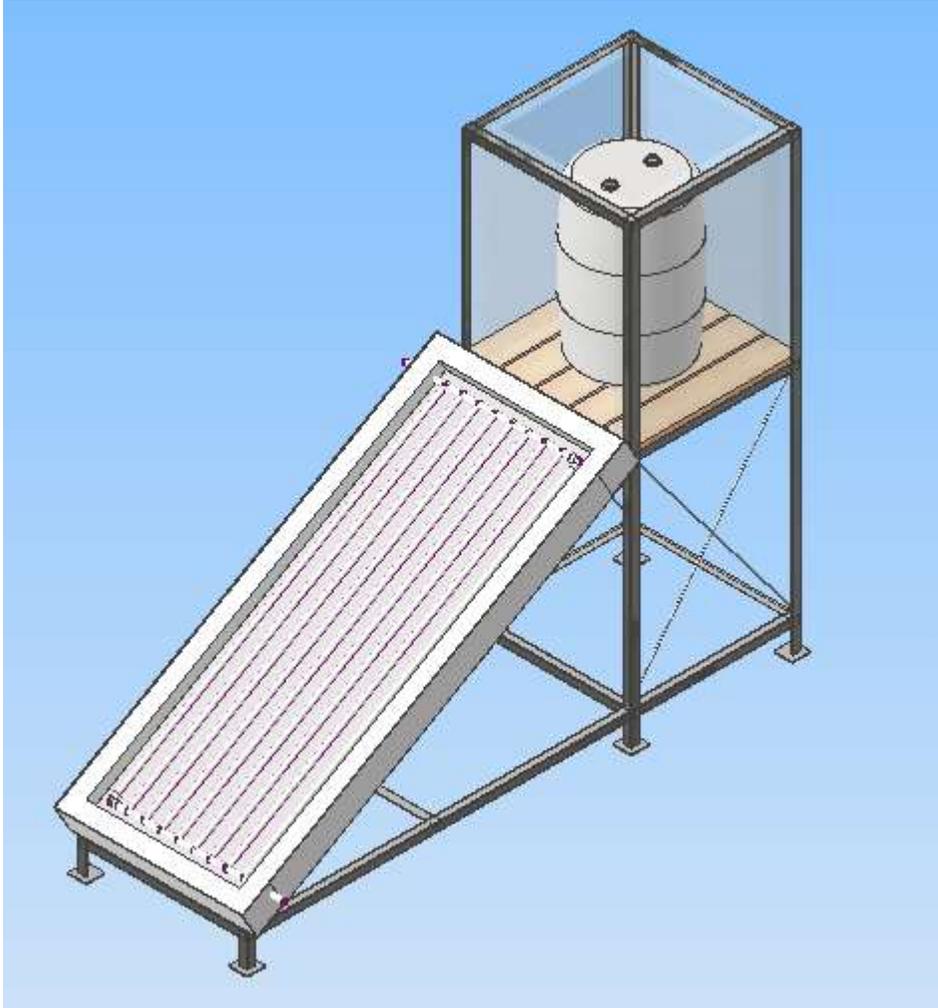
De acuerdo a esto, para un colector de 1.6 m² (17.2 ft²), se requiere un tanque de 100L.

Respiradero: Un tanque cerrado requerirá una válvula de purga de aire

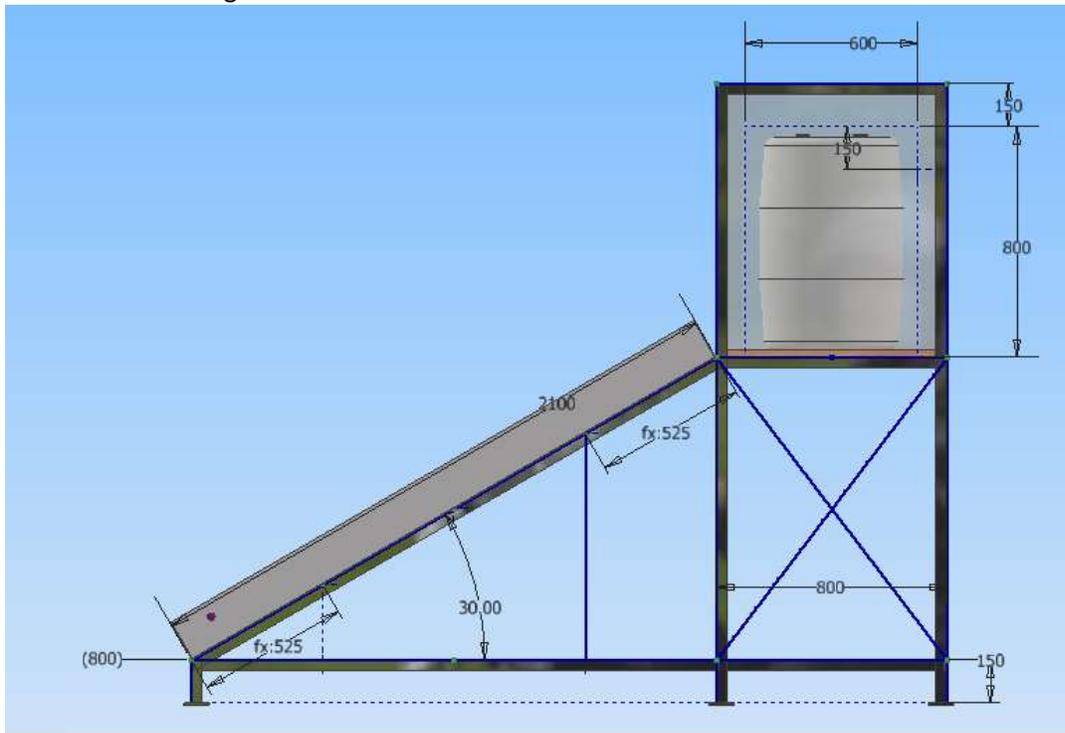
6. Desarrollo de piezas y ensambles

A continuación, algunas capturas del proceso de desarrollo de modelos 3d para los planos del proyecto

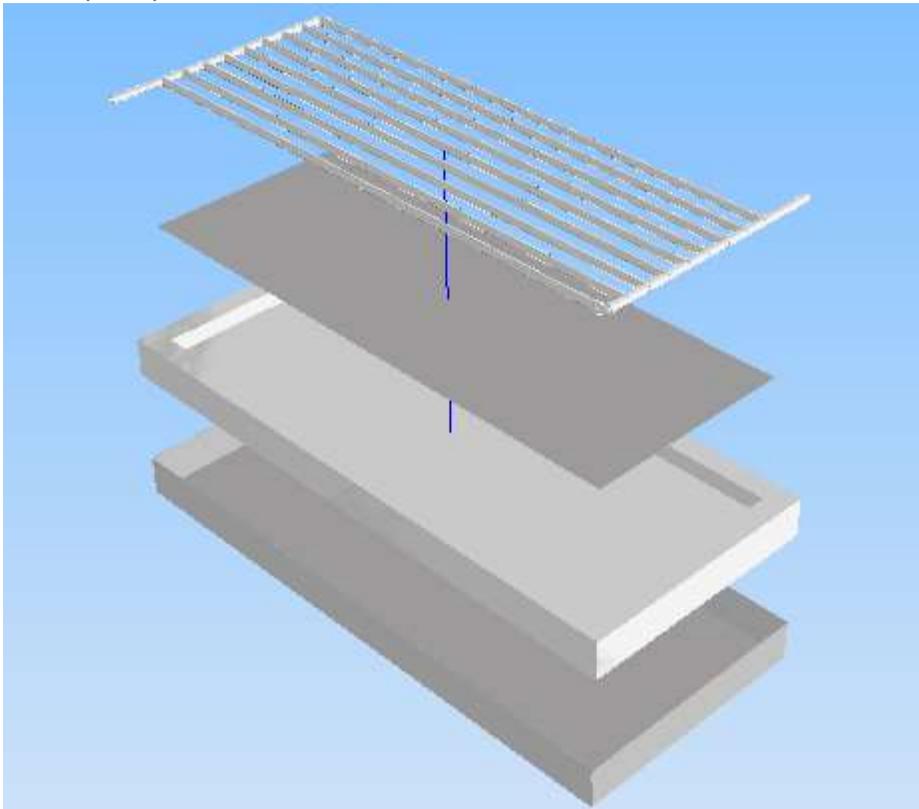
Conjuntos principales



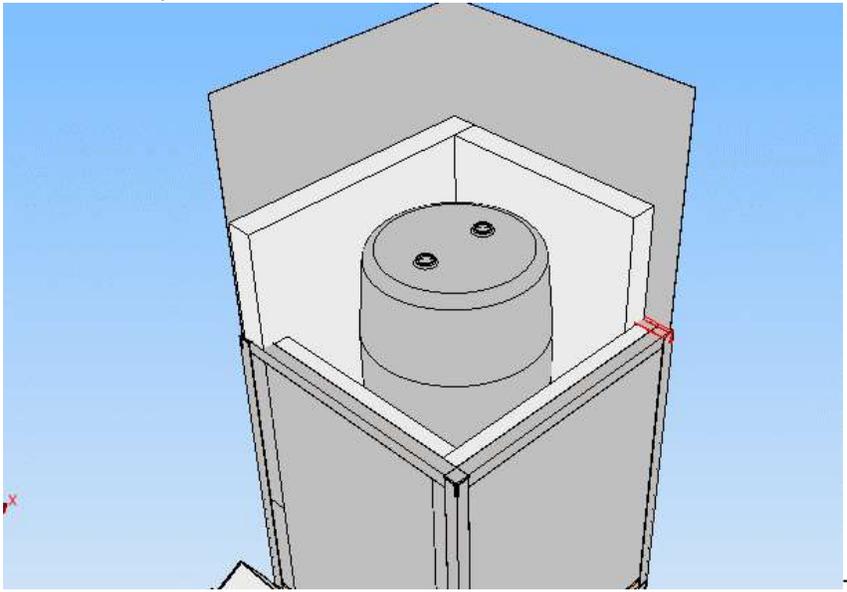
Vista lateral con algunas medidas



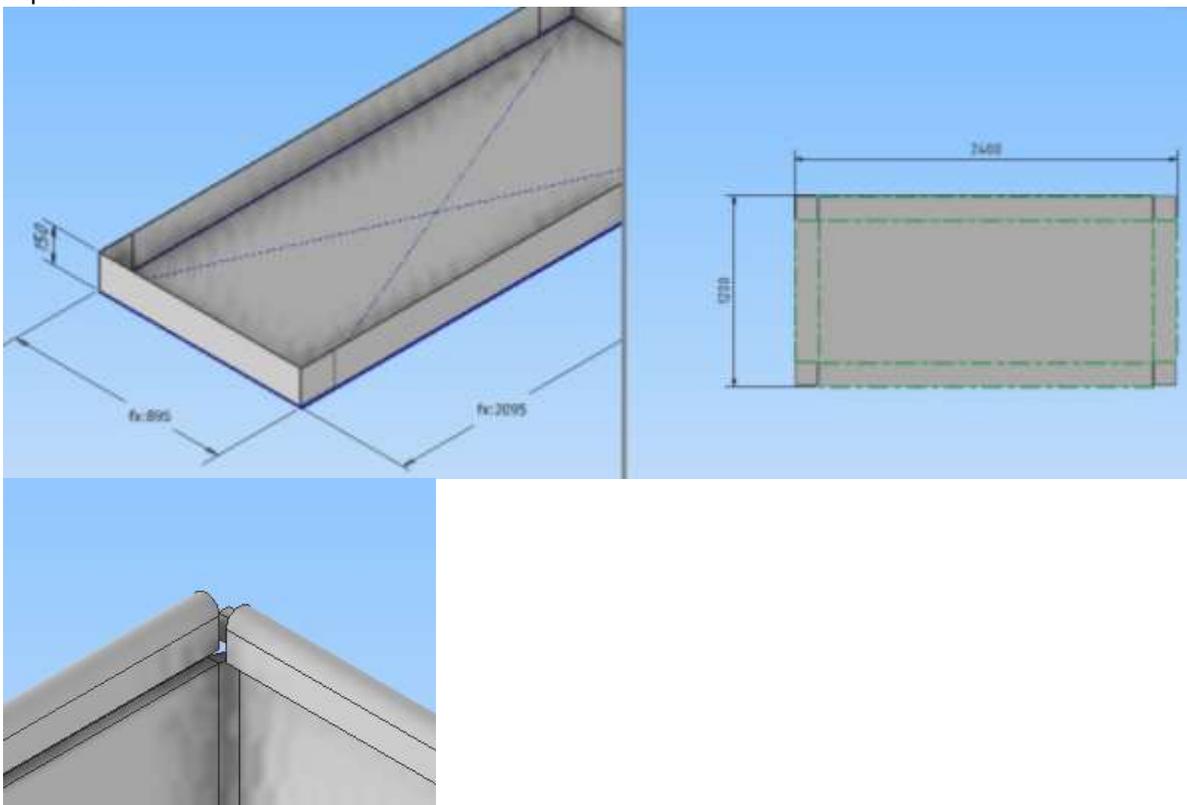
Partes principales del colector



Vista del tanque con aislamiento



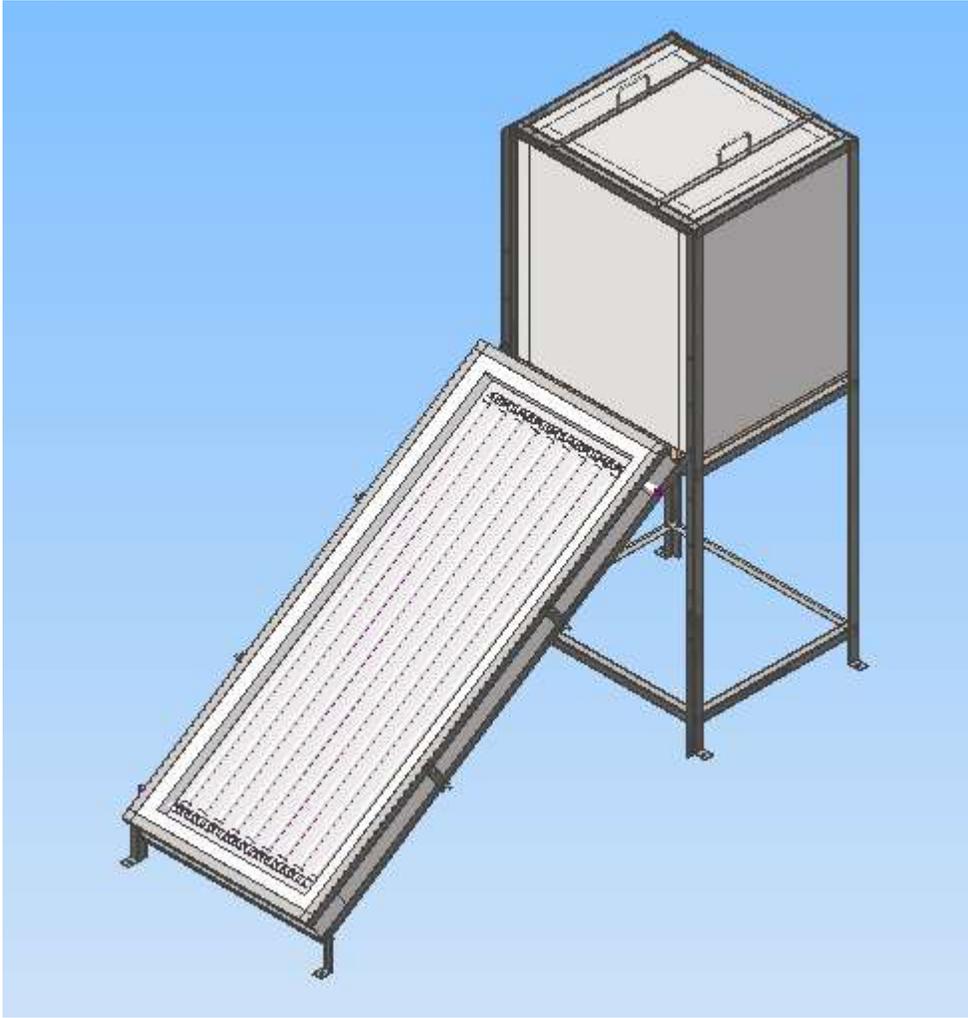
Caja del colector hecha con lámina doblada, desarrollo a partir de lámina comercial y doblés en bordes superiores



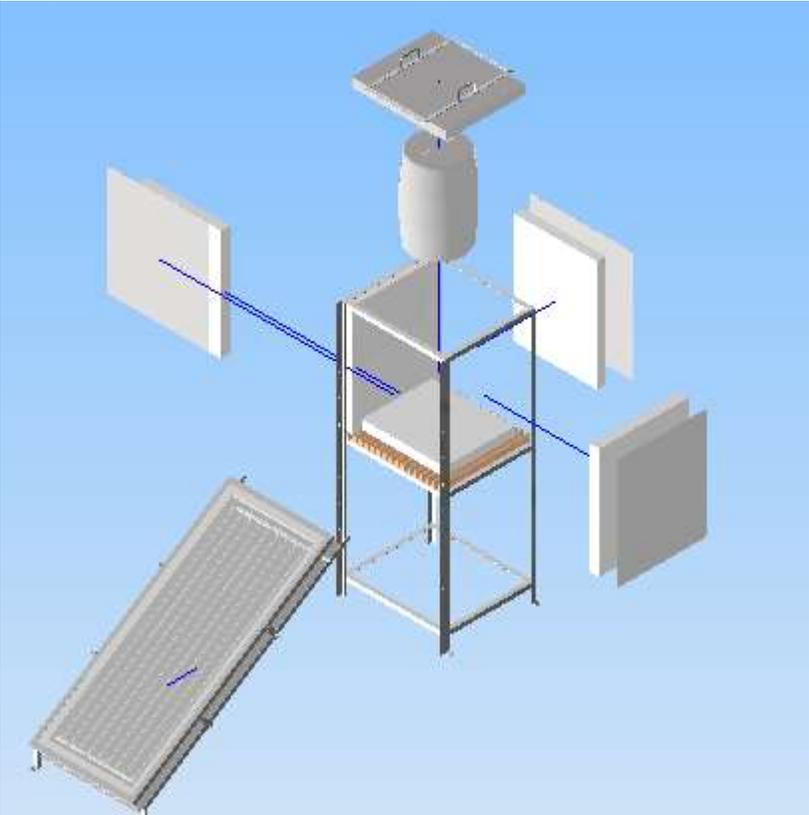
Pendiente agregar tubos y accesorios hidráulicos, tapas del colector, tapa del tanque, anclajes del colector, entre otros.

7. Ajustes finales en detalles estructurales

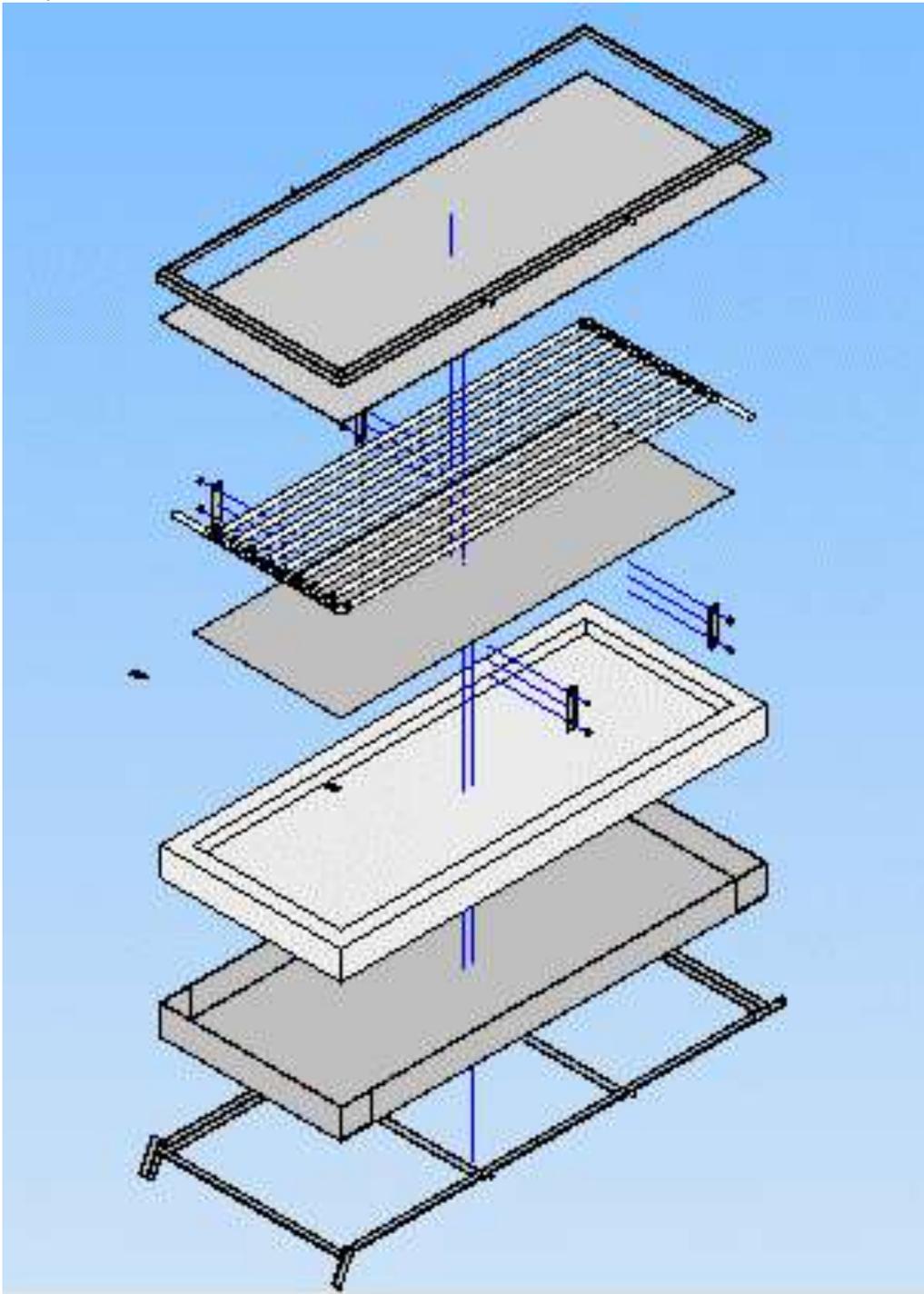
7.1. Conjunto



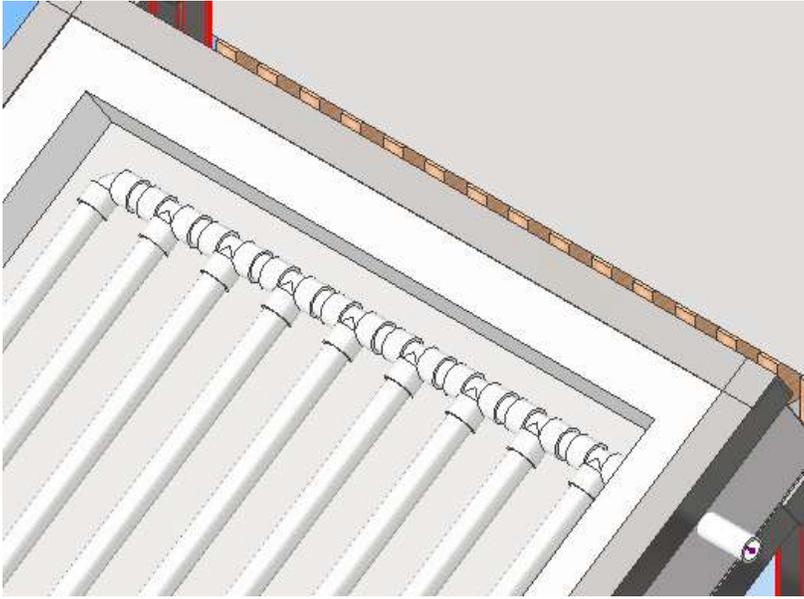
7.2. Despiece



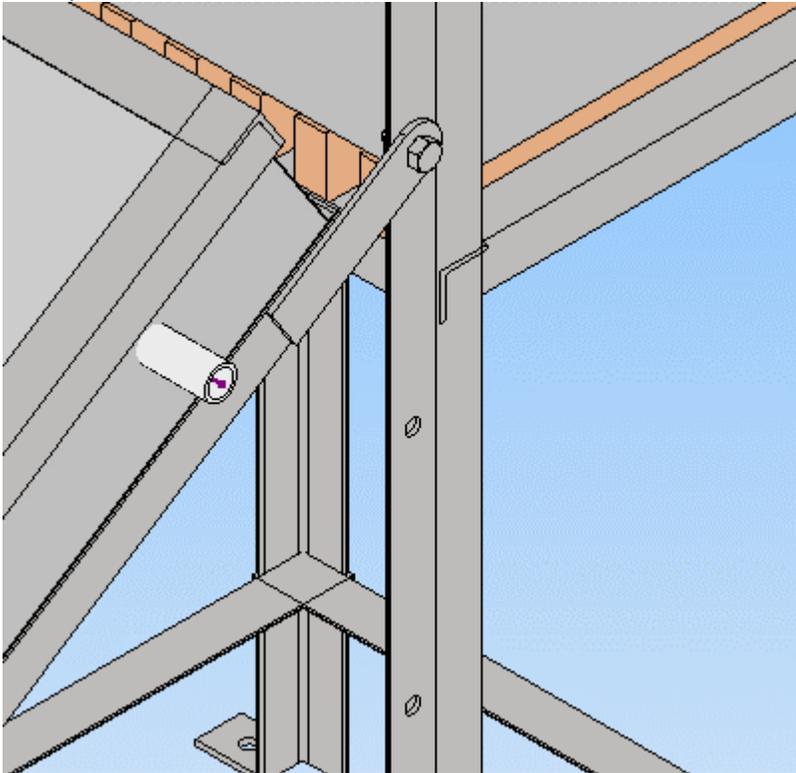
7.3. Despiece de colector



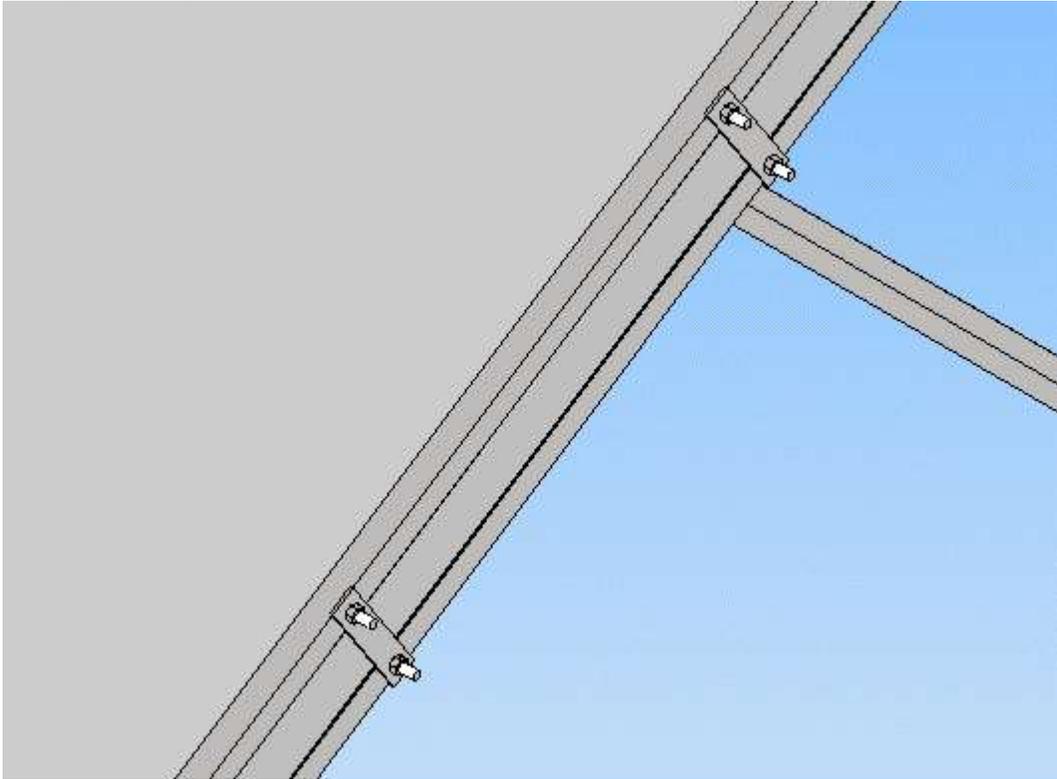
7.4. Colocación de primeros accesorios hidráulicos (Codos y tees dentro del colector)



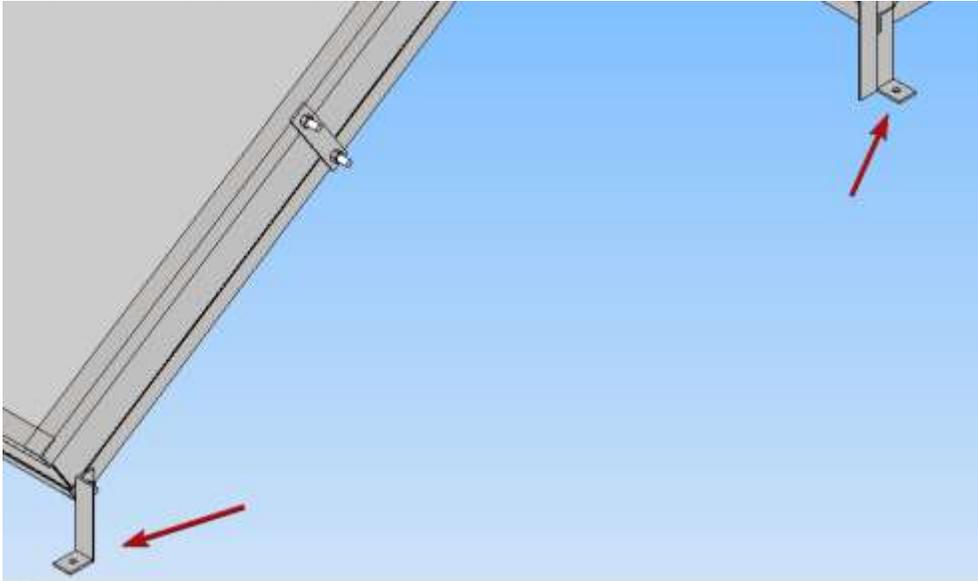
7.5. Anclaje variable del colector



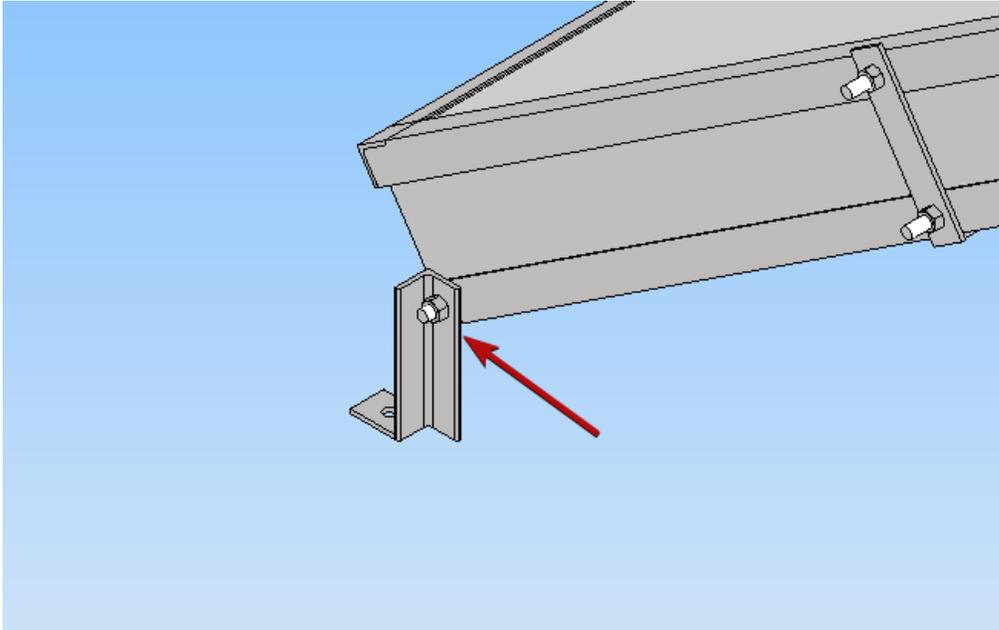
7.6. Anclaje de la tapa del colector



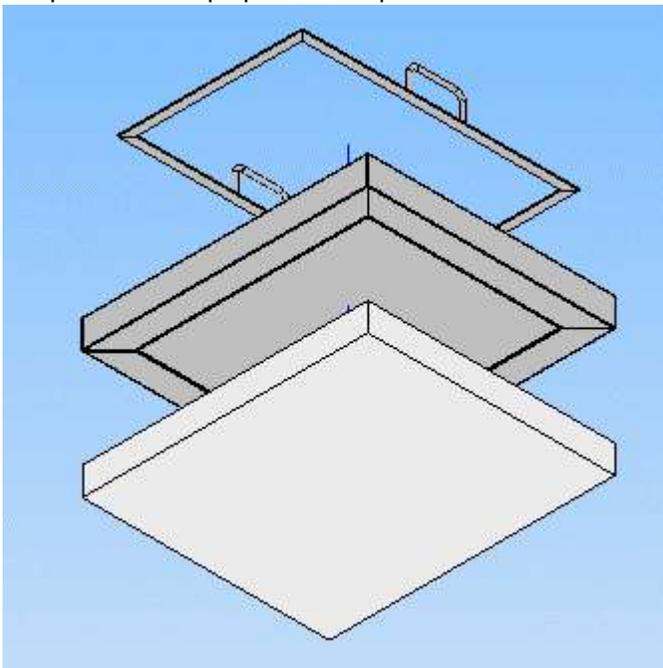
7.7. Orejas de anclaje para las patas



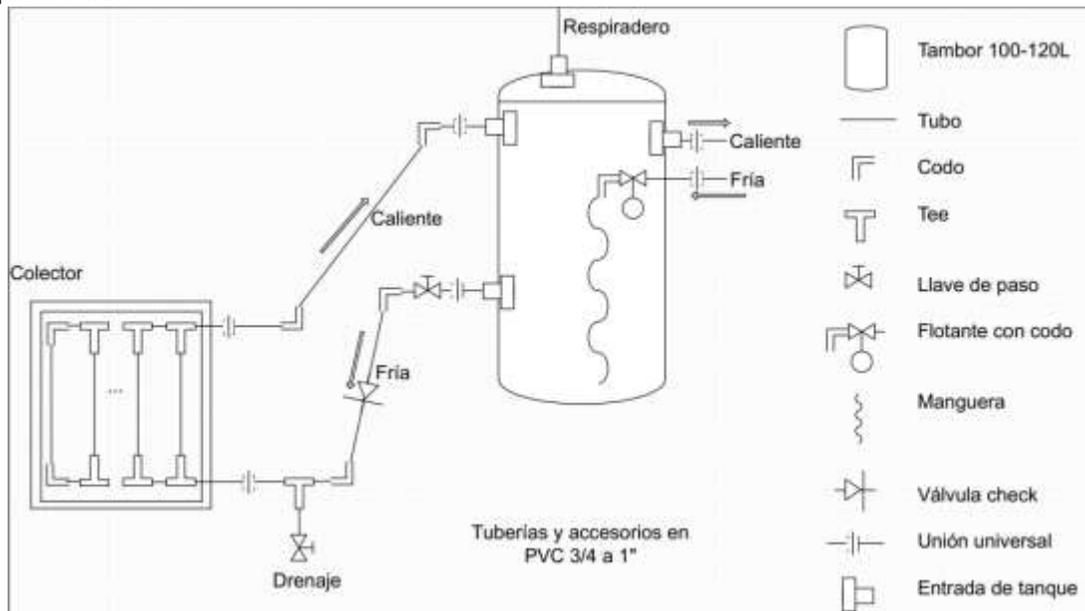
7.8. Articulación en patas del colector



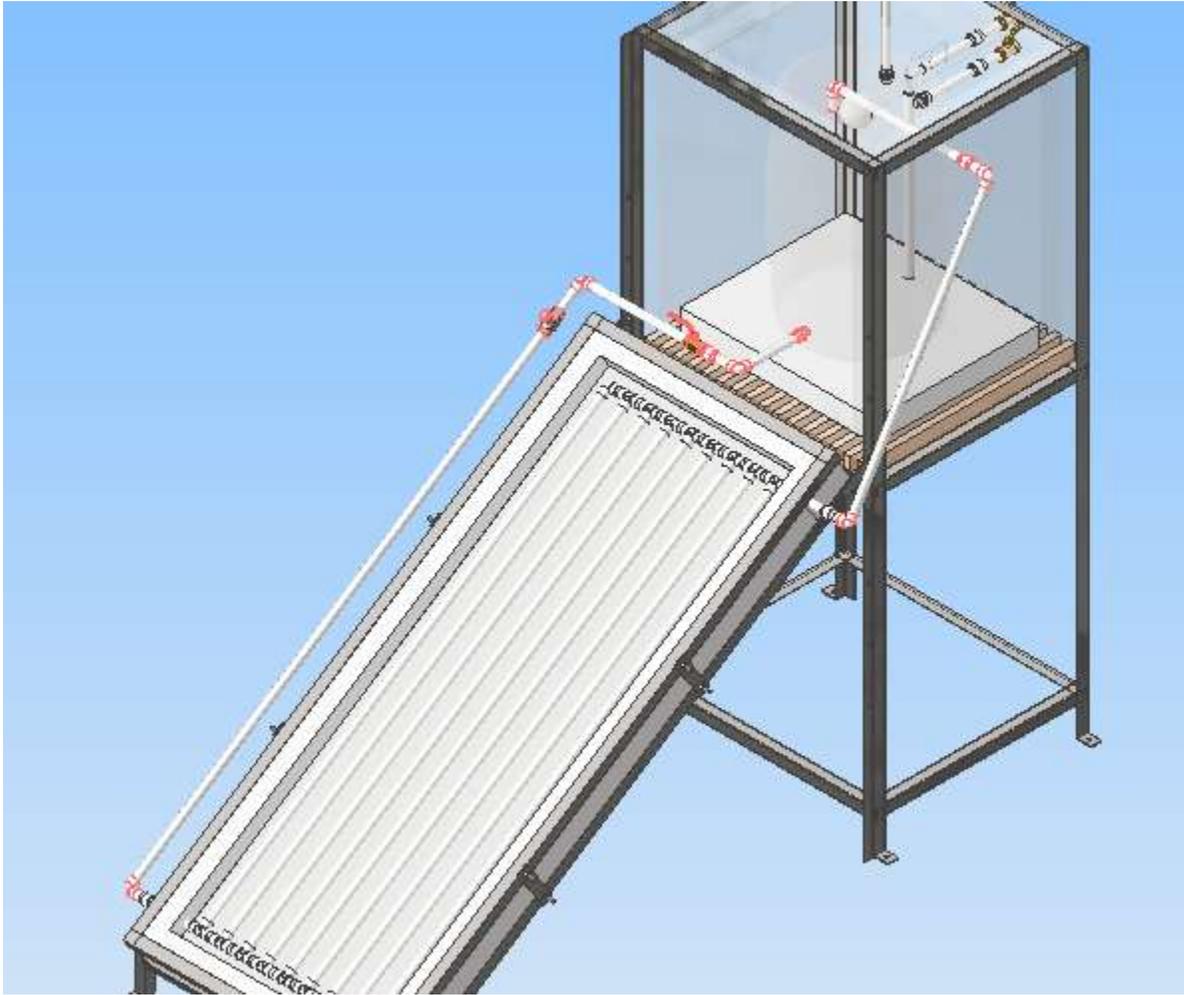
7.9. Despiece de la tapa para el tanque



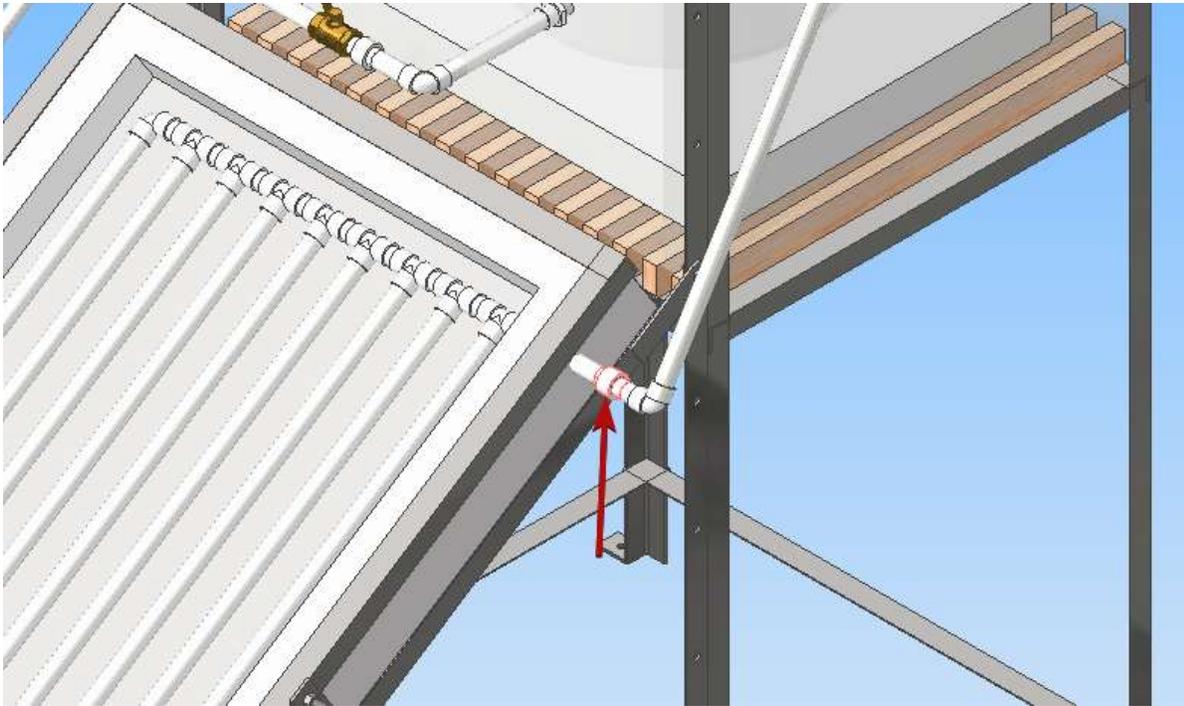
8. Esquema hidráulico



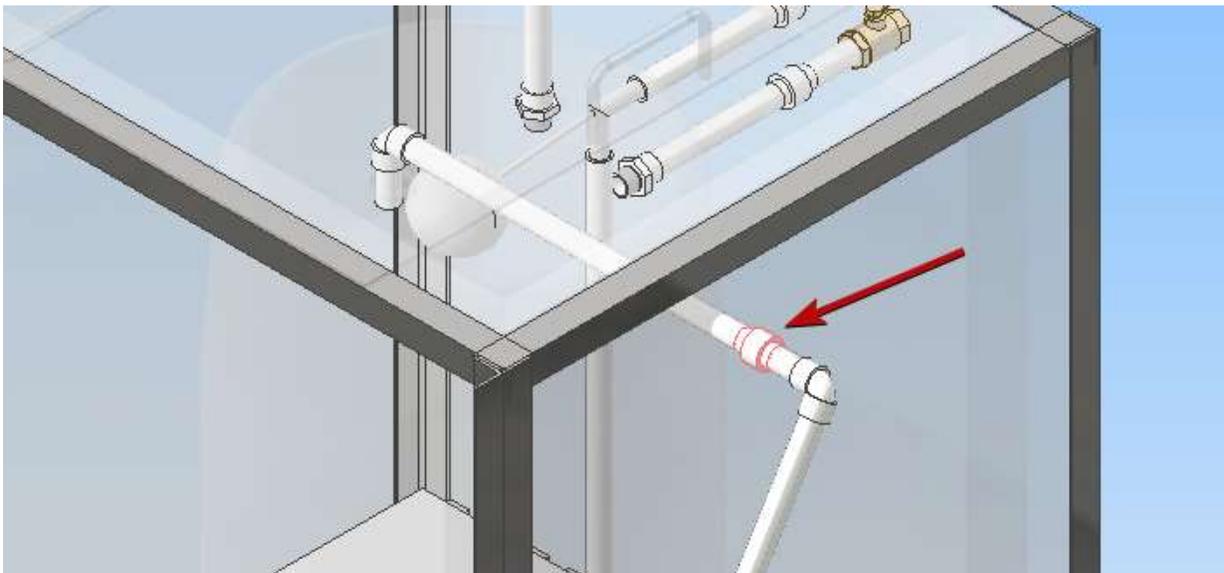
9. Distribuciones de tuberías (algunos elementos transparentes para mejor visualización)



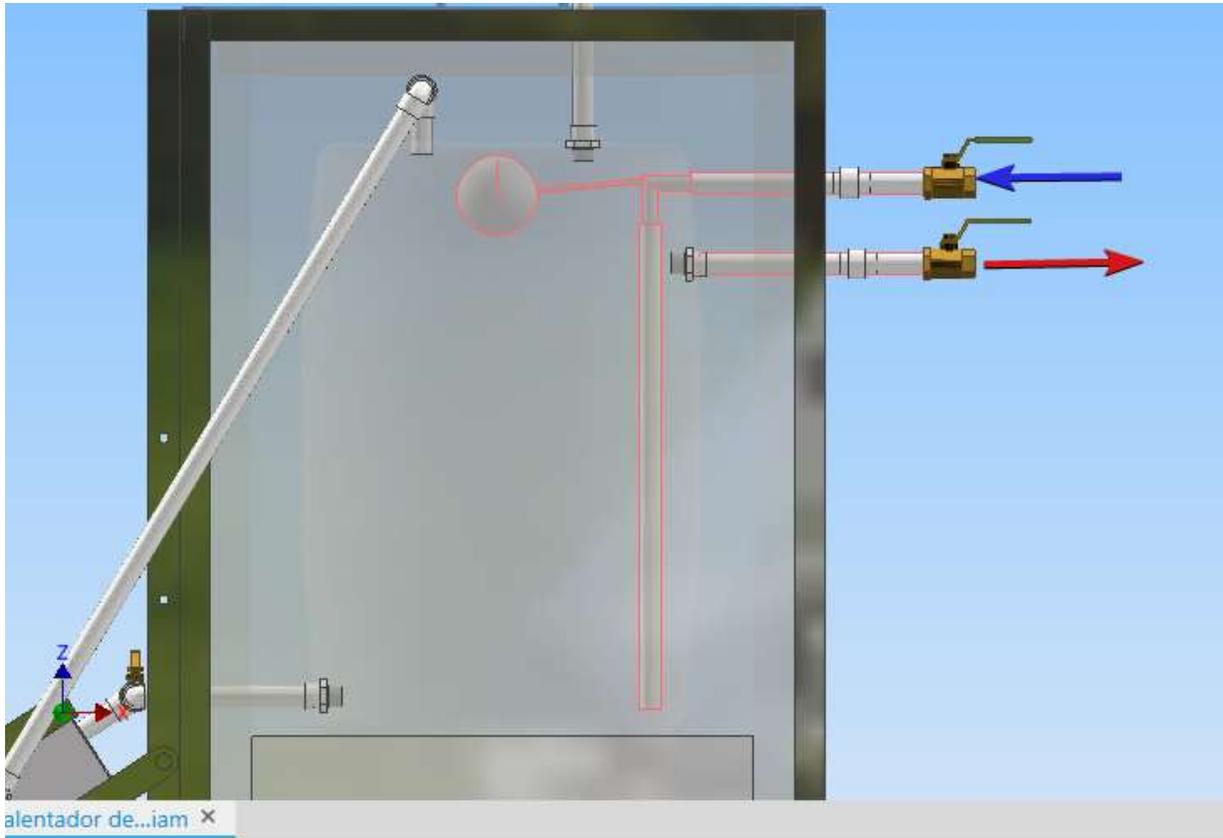
Rutas de entrada de agua fría y salida de agua caliente del colector



Unión universal en entrada y salida del colector



Unión universal en entradas y salidas del tanque



Ruta de entrada de agua fría en el tanque, con flotante y tubo pescador, y salida de agua caliente



Ruta de agua fría hacia el colector, con válvula check