

CAPÍTULO 6

DISEÑO Y CÁLCULO DE COMPONENTES

**JUAN CARLOS
MARTINEZ ESCRIBANO**
Ingeniero Consultor

juancarlosmartinezescribano@yahoo.es



DISEÑO HIDRÁULICO Y TÉRMICO DEL SST

- Datos de partida:
 - Número y características de colectores
 - Esquema de funcionamiento completo
- Diseño de sistemas:
 - Sistema de captación
 - Sistema de acumulación
 - Sistema de intercambio
 - Circuito hidráulico
 - Sistema de apoyo
 - Sistema eléctrico y de control
- Dimensionado y selección del resto de componentes

DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

Desde el punto de vista hidráulico y térmico, se analiza:

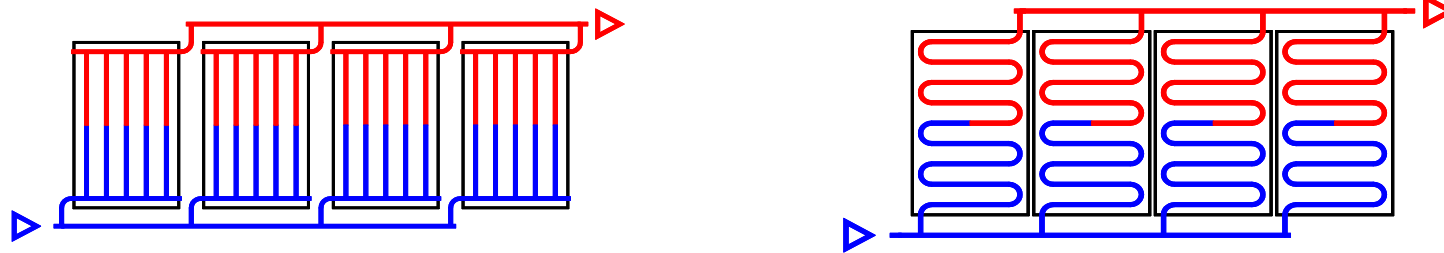
- Batería de colectores
 - Conexión de colectores en paralelo
 - Conexión de colectores en serie
- Conexión de baterías
 - en paralelo
 - en serie
- Agrupación y sectorización del campo de colectores
- Trazado hidráulico del circuito primario

BATERÍA DE COLECTORES

- Conjunto de colectores montados sobre una estructura común y conectados entre sí
- La batería de colectores se comporta como un único colector con:
 - área de captación: suma de las áreas
 - rendimiento equivalente calculado en función del caudal y el tipo de conexión
 - pérdida de carga equivalente calculada en función del caudal y el tipo de conexión



CONEXIÓN DE COLECTORES EN PARALELO



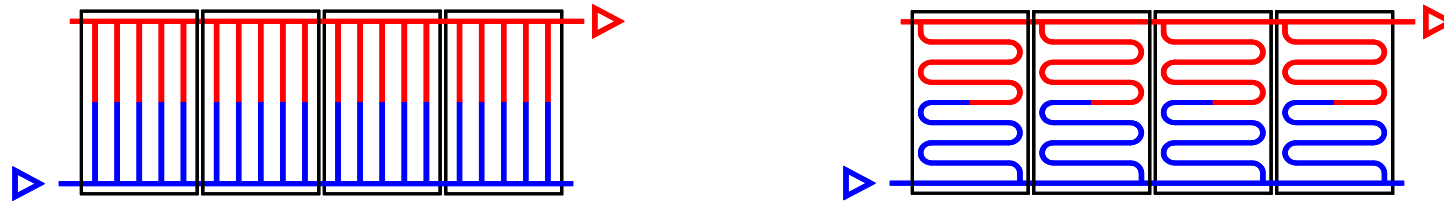
Caudal total se reparte entre los distintos colectores:

- Tienen la misma temperatura de entrada, y
- Si trabajan con el mismo caudal,
- la temperatura de salida es la misma

Al dividirse el caudal entre todos los colectores, la pérdida de carga es inferior que si todo el caudal pasase por uno sólo.

Lo más importante: asegurar la distribución del caudal

CONEXIÓN DE COLECTORES EN PARALELO INTERNO



Cuando los colectores disponen de:

- Tubos distribuidores internos, y
- Cuatro conexiones

Se utilizan los distribuidores como tuberías de reparto:

- importante ahorro de tuberías exteriores
- reducción de las pérdidas térmicas

Para asegurar la distribución del caudal: número de colectores y los rangos de caudal limitados por el fabricante

CONEXIÓN DE COLECTORES EN SERIE



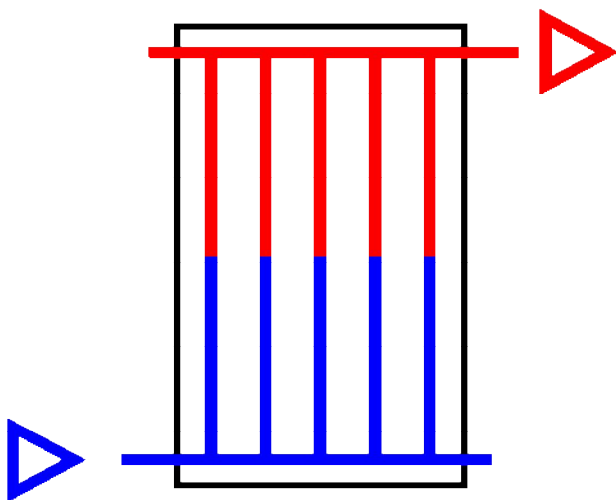
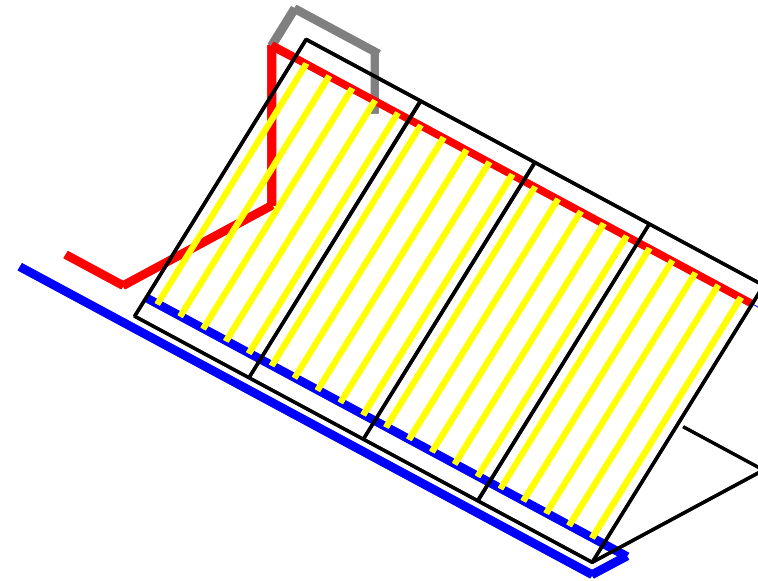
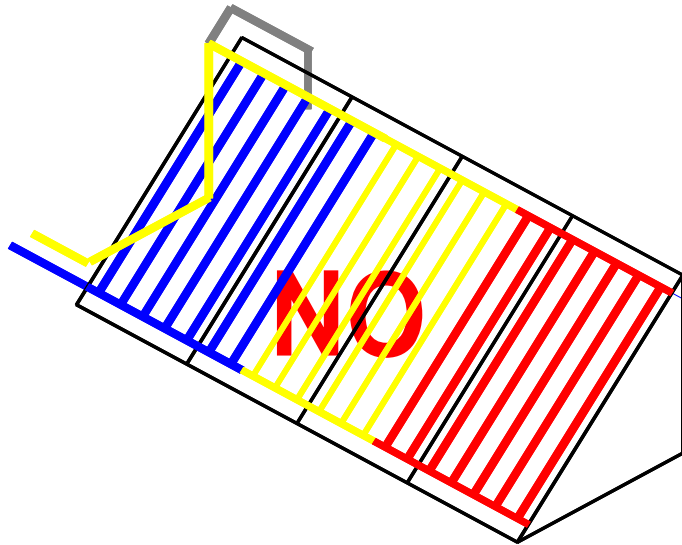
El caudal total recorre cada uno de los colectores de la batería:

- Se garantiza el mismo caudal para todos
- La temperatura de salida de uno es la de entrada del siguiente, con lo que los rendimientos de los distintos colectores van disminuyendo

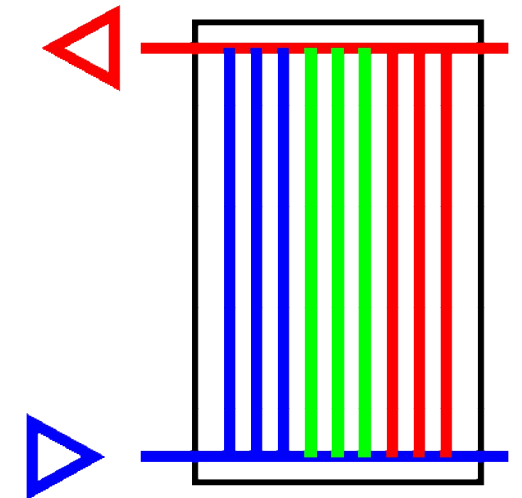
La pérdida de carga de la batería es suma de las pérdidas de carga de cada uno de los colectores.

Lo más importante: controlar la pérdida de carga total

CONEXIONADO EXTERIOR DE UNA BATERÍA

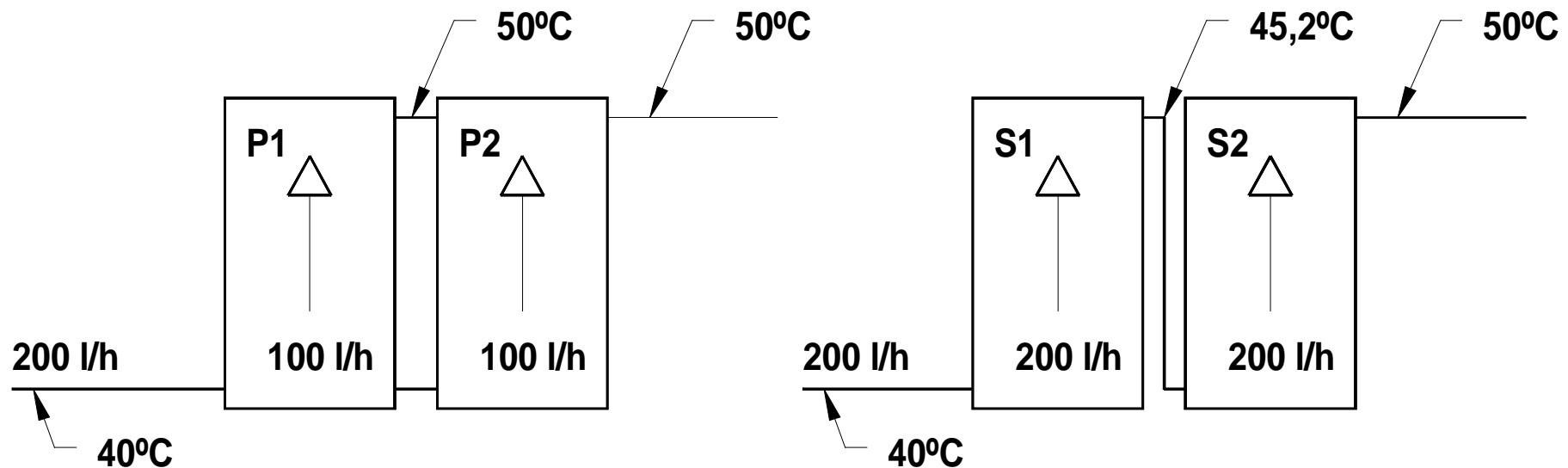


- Por defecto: lados distintos para equilibrar.
- Análisis detallado en función de: la configuración y los caudales de diseño



EJEMPLO DE CONEXIONADO DE COLECTORES 1

Analizar el conexionado en paralelo y en serie de dos colectores de 2 m^2 cada uno por los que circula el mismo caudal de 200 l/h y cuya temperatura de entrada es de 40°C . Se supone que la irradiancia incidente es de 1.160 W/m^2



EJEMPLO DE CONEXIONADO DE COLECTORES 2

Para los colectores conectados en paralelo, el caudal se distribuye por igual en ambos colectores y, si se supone un rendimiento del 50%, se producirá un incremento de temperatura de:

$$1.160 * 0,864 * 2 * 0,5 / 100 = 10K$$

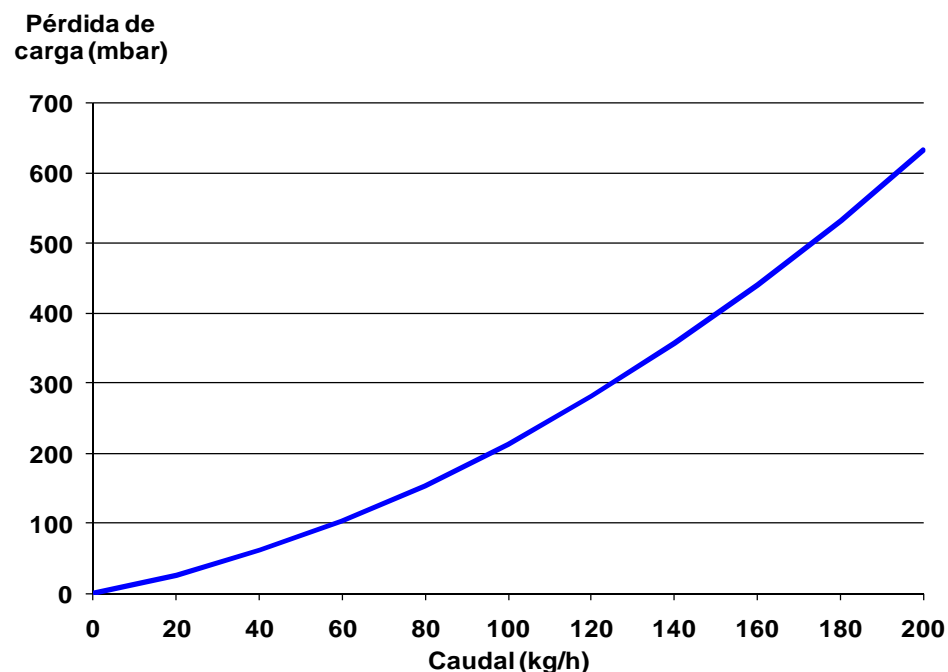
Para los colectores conectados en serie, todo el caudal atraviesa el primer colector y, debido al mayor caudal, el rendimiento debe ser algo mayor; si suponemos que es del 52%, se producirá un incremento de temperatura de $1.160 * 0,864 * 2 * 0,52 / 200 = 5,2$ K. Pero el segundo colector, ya tendrá una temperatura de entrada superior (45,2°C), si suponemos que es del 48% el incremento de temperatura será de 4,8K con lo que el resultado final sería el mismo. En la práctica puede ser muy parecido.

Hay que verificar que los caudales específicos por colector están en el rango recomendado por el fabricante.

EJEMPLO DE CONEXIONADO DE COLECTORES 3

Si se analiza la pérdida de carga, y se supone que el gráfico adjunto es el representativo del colector, lo que ocurre es que:

- Para la conexión en paralelo (caudal de 100 kg/h) la pérdida de carga es pequeña y corresponde prácticamente a la un colector (214 mbar en la figura).
- Para la conexión en serie (caudal de 200 kg/h) , la pérdida de carga es muy superior (633 mbar en la figura), pero además hay que contabilizar la de los 2 colectores en serie (serían más de 1.266 mbar)



EJEMPLO DE CONEXIONADO DE COLECTORES 4

Comparar los resultados (temperaturas de salida y rendimientos) si los caudales de entrada pasan a 100 kg/h.

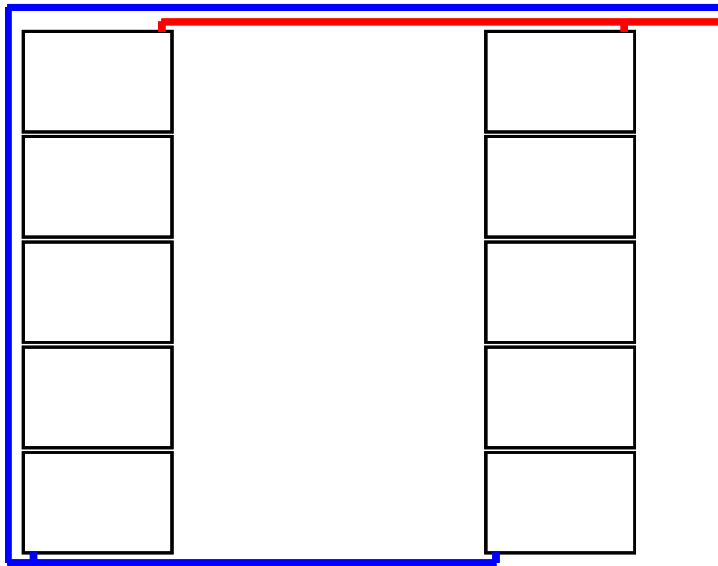
Analizar la influencia de la pérdida de carga de la batería cuando se incorporan en circuitos de:

- Baja pérdida de carga
- Elevada pérdida de carga

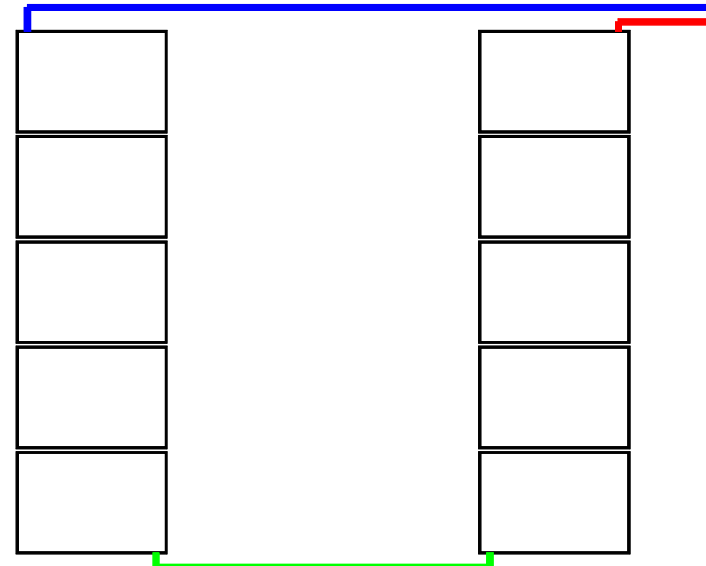
Analizar cómo afecta al rendimiento global el desequilibrio de caudales de los colectores en paralelo

Analizar las pérdidas de carga de 3 tipos diferentes de colectores

CONEXIONES DE BATERÍAS EN SERIE Y PARALELO



PARALELO



SERIE

CONEXIONES DE BATERÍAS EN SERIE Y PARALELO

En paralelo:

Caudal total se reparte entre las distintas baterías. Como todas tienen la misma temperatura de entrada, si trabajan con el mismo caudal, la temperatura de salida es la misma

La pérdida de carga es inferior que si todo el caudal pasase por una batería.

Lo más importante: asegurar la distribución del caudal

En serie:

El caudal total recorre cada una de las baterías y se garantiza el mismo caudal para todas. La temperatura de salida de una es la de entrada de la siguiente, y los rendimientos de la serie de baterías van disminuyendo.

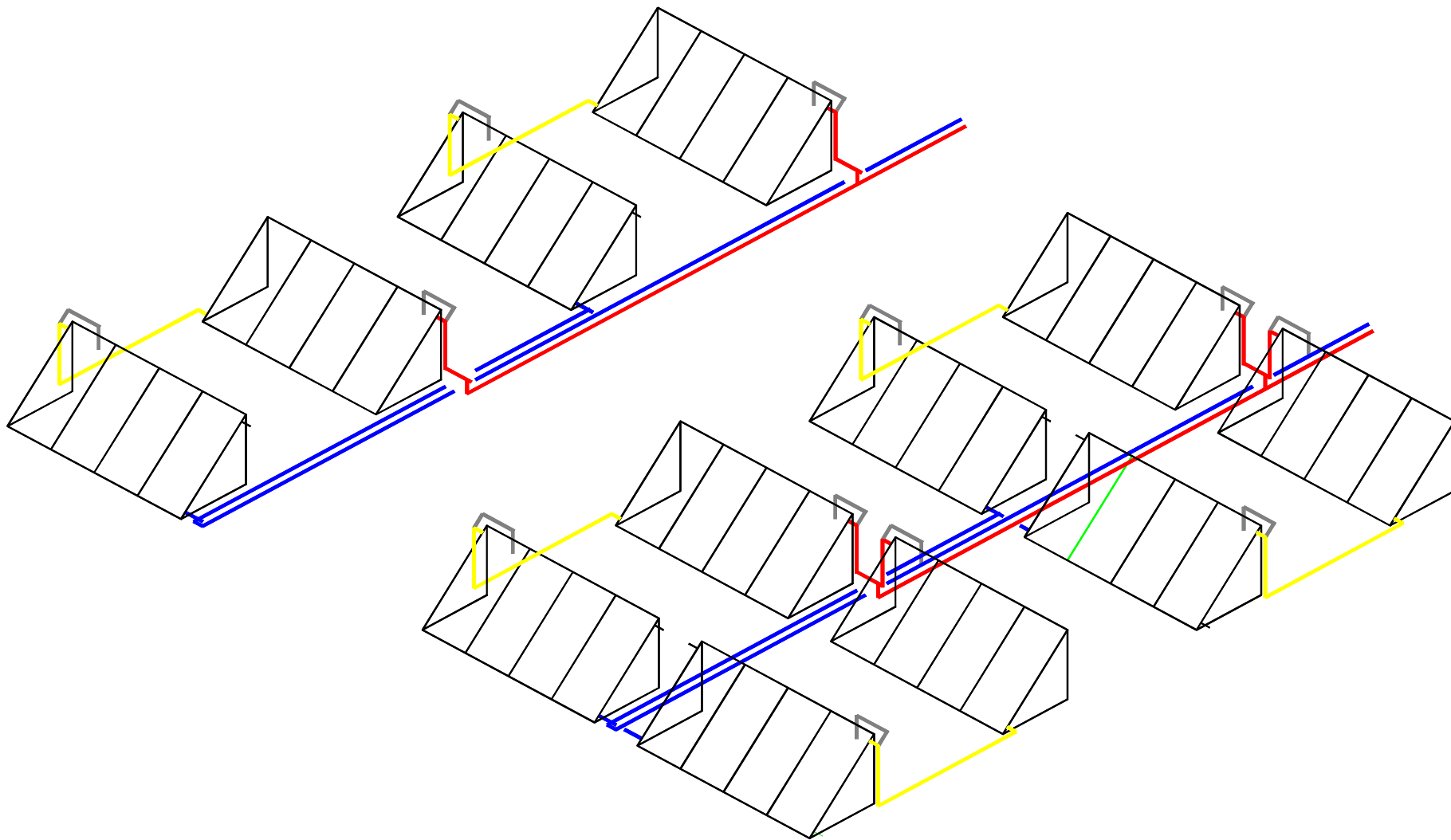
La pérdida de carga es la suma de las pérdidas de carga de cada una de las baterías.

Lo más importante: controlar la pérdida de carga total

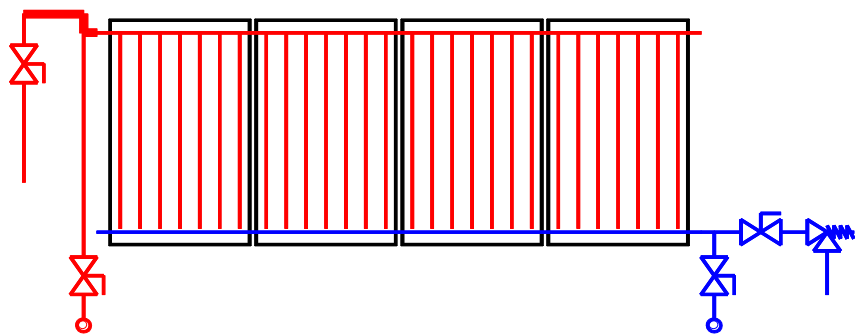
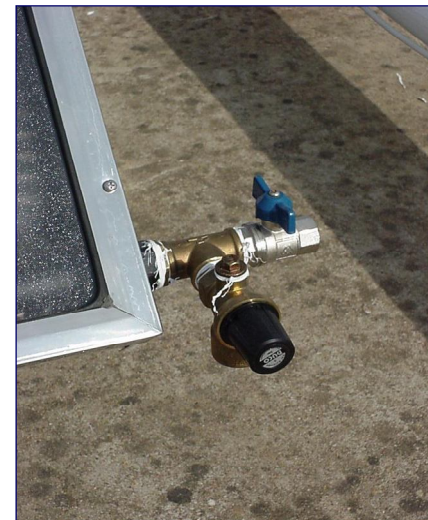
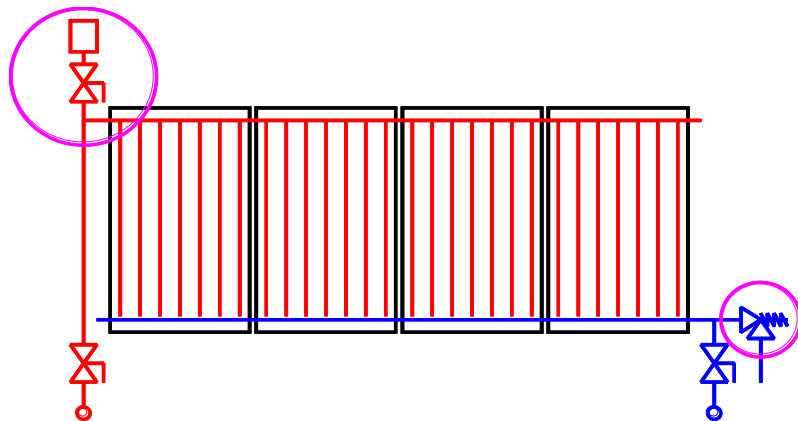
AGRUPACIÓN Y SECTORIZACIÓN

- Grupos de baterías de captadores
 - Conexionado
 - Condiciones de equilibrado
- Sectorización del campo de captadores
 - para independizar grupos de captadores (no baterías)
 - criterios de sectorización
 - por disposición de espacios
 - por selección del proyectista (fiabilidad y mantenimiento)
 - nivel de sectorización
 - pequeñas (menores de 10m²): 100% (1 grupo)
 - medianas (entre 10 y 100 m²): 50 a 20 % (de 2 a 5 grupos)
 - grandes (mayores de 100m²): 20 a 10% (de 5 a 10 grupos)

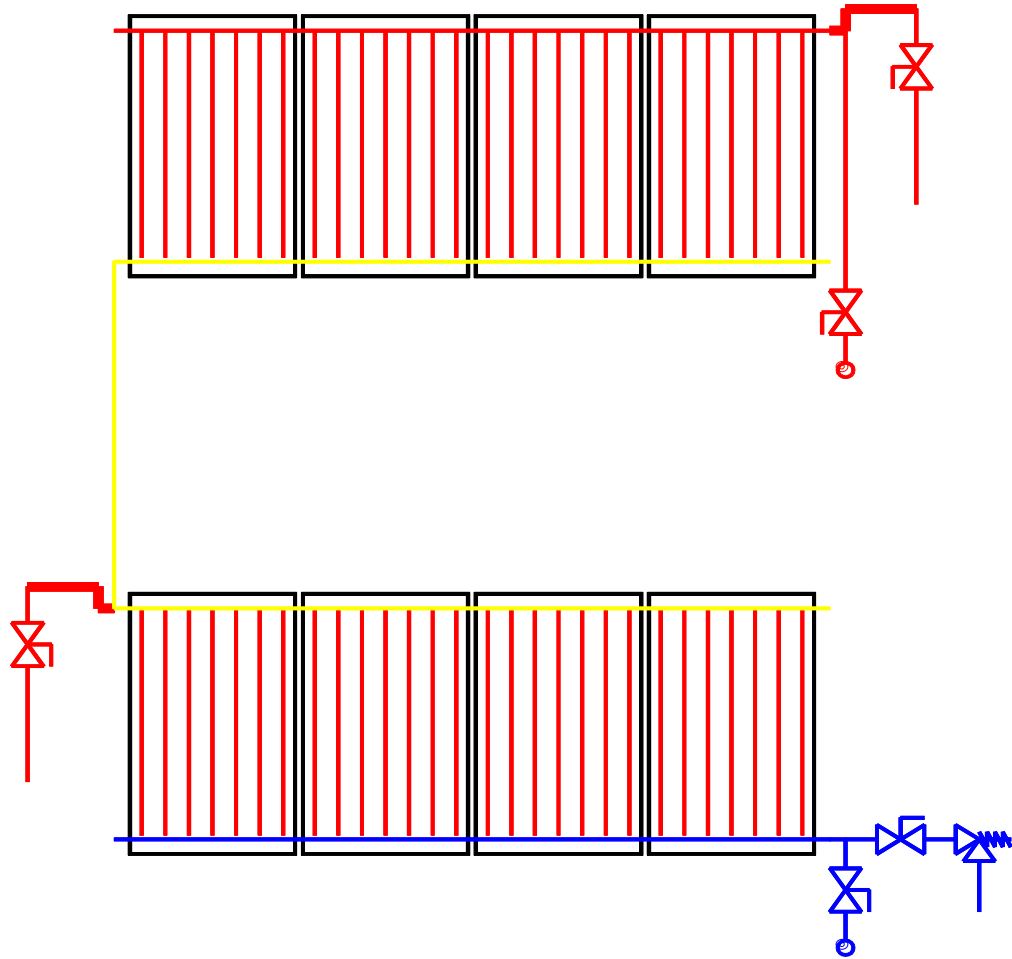
AGRUPACIÓN DE BATERÍAS



CONEXIONADO DE UNA BATERÍA

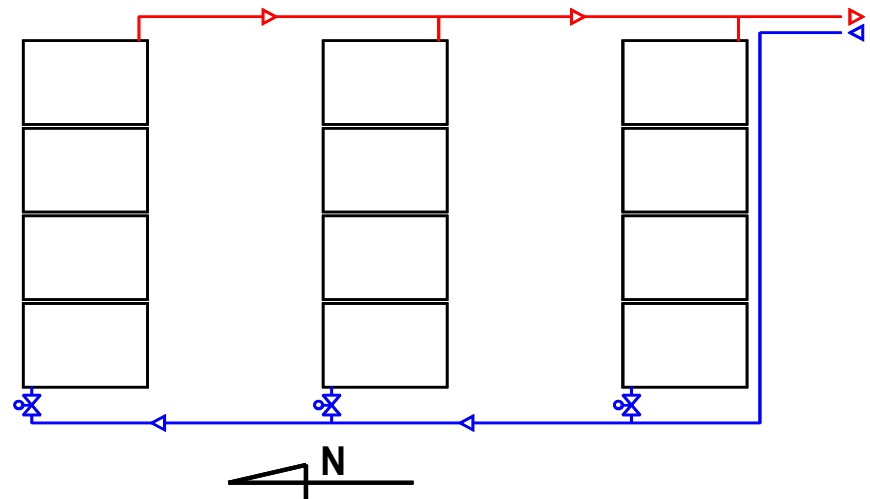
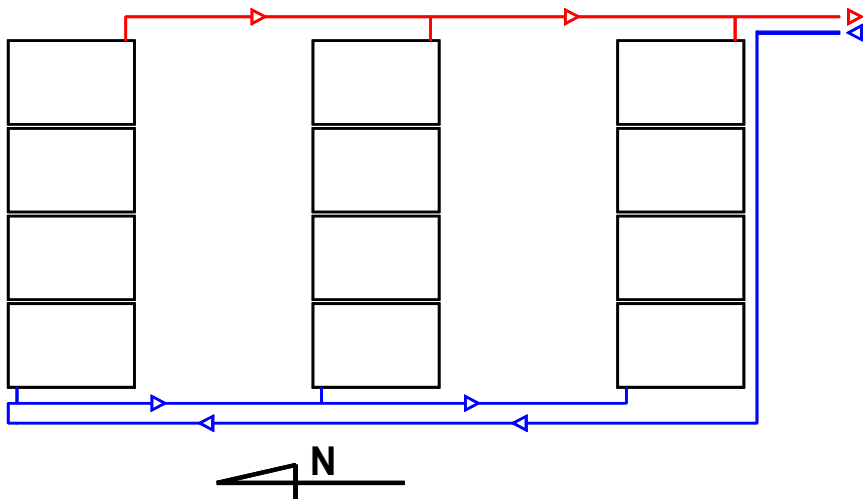


CONEXIONADO DE BATERÍAS EN SERIE



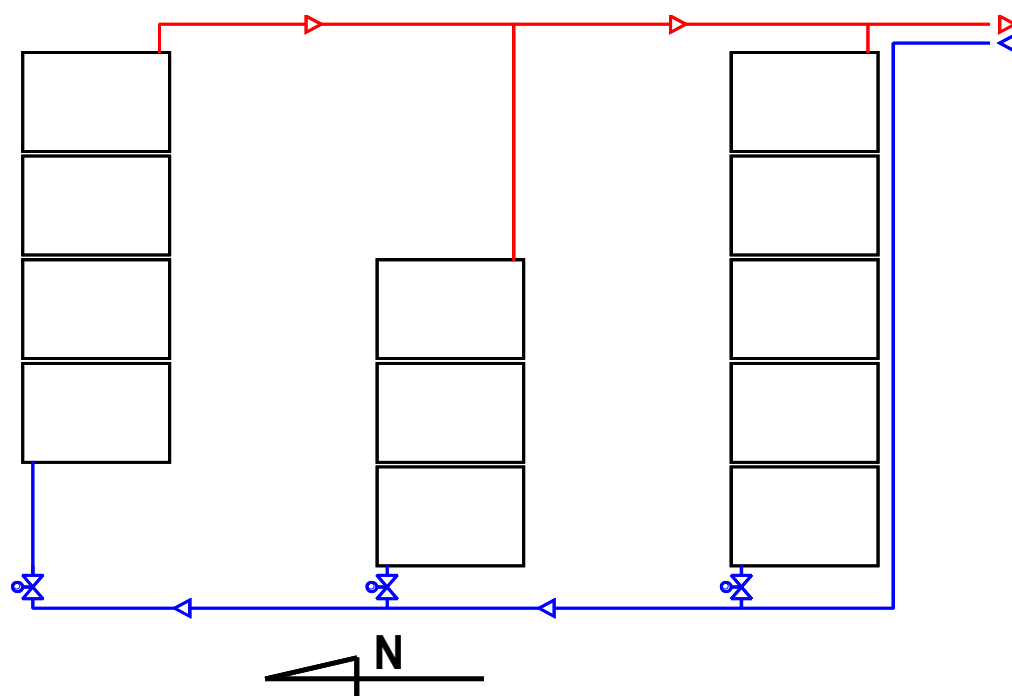
EQUILIBRADO DE CIRCUITOS

- Para equilibrar conexiones en paralelo se utiliza:
 - Retorno directo con válvulas de balanceo
 - Retorno invertido
- Es aplicable tanto a baterías como a grupos de baterías



EQUILIBRADO DE CIRCUITOS

Para equilibrar conexiones en paralelo de baterías de distinto tamaño se deberán utilizar válvulas de equilibrio:

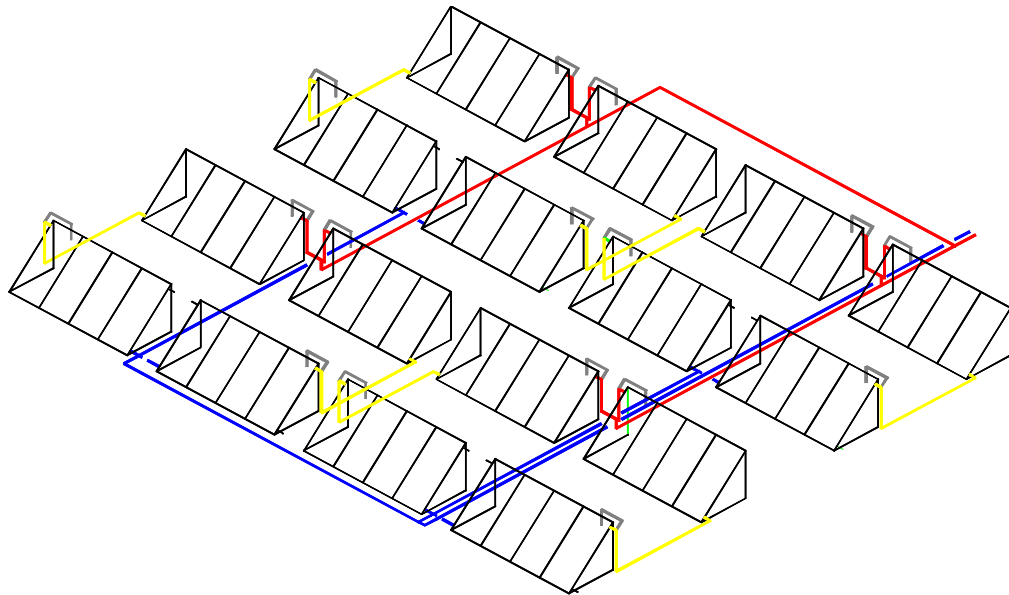
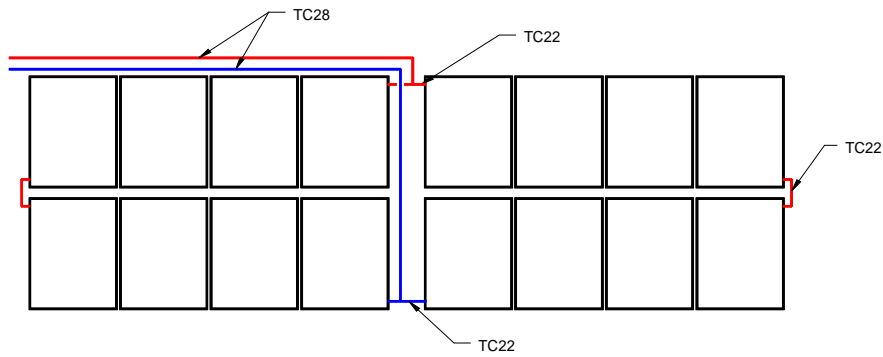


CIRCUITO HIDRÁULICO

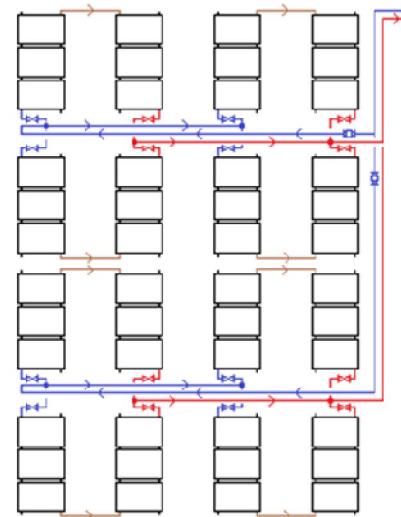
- Equilibrado de todos los circuitos
- Minimizar las pérdidas de carga
- Minimizar las pérdidas térmicas:
 - reduciendo la longitud total del trazado
 - ajustando los caudales de circulación
 - priorizando al trazado corto del tramo caliente



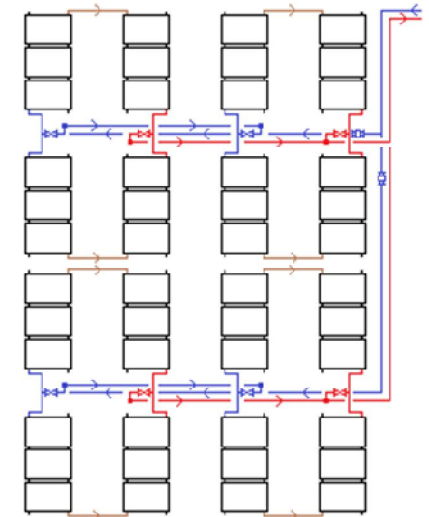
EJEMPLOS DE TRAZADO HIDRÁULICO DE CIRCUITOS



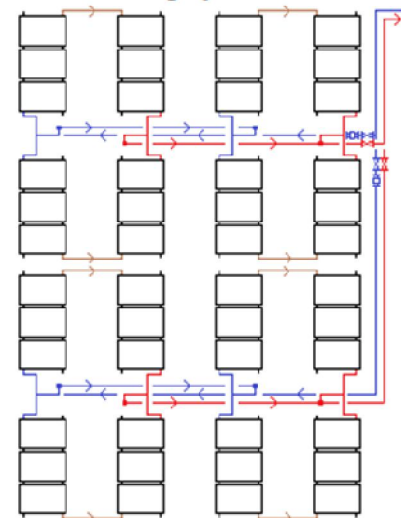
Solución 1: 8 grupos de 2 baterías



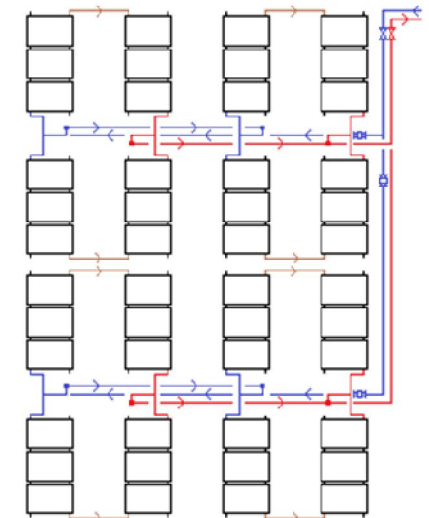
Solución 2: 4 grupos de 4 baterías



Solución 3: 2 grupos de 8 baterías



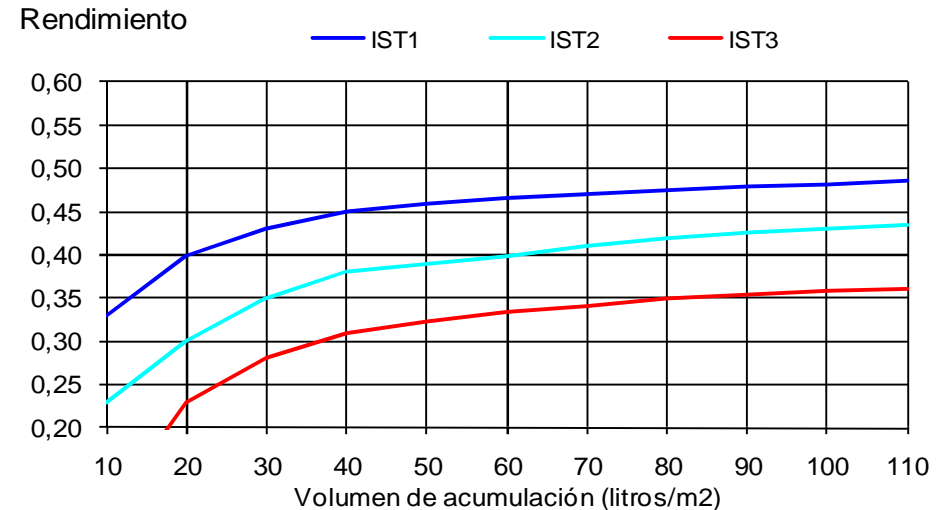
Solución 4: 1 grupo de 16 baterías



DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN

Cálculo de la capacidad total:

- cumplir: $60 \leq V/A \leq 120$
- análisis de sensibilidad:
($75 \text{ l/m}^2 \pm 15 \text{ l/m}^2$)



Descripción del sistema:

- Número y tamaño de cada uno de los acumuladores
- Ubicación: exterior o interior
- Disposición: vertical u horizontal
- Características constructivas y térmicas
- Conexión entre acumuladores

RECOMENDACIÓN GENERAL SOBRE ACUMULACIÓN

Utilizar un único acumulador vertical e interior:

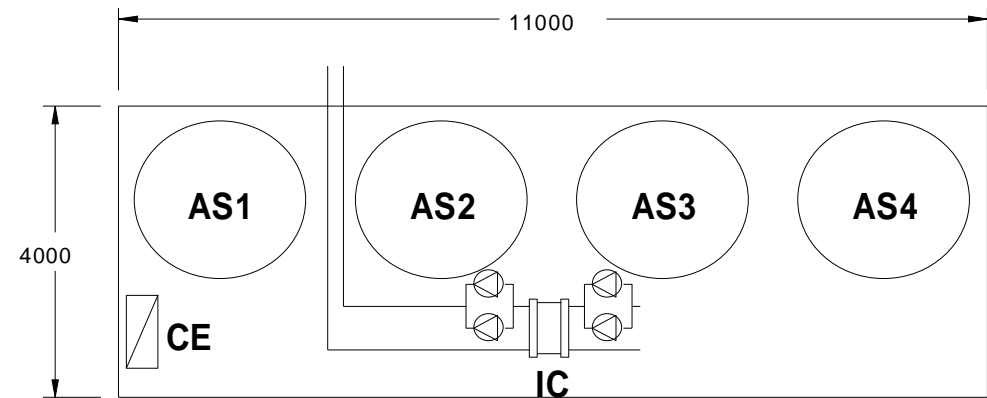
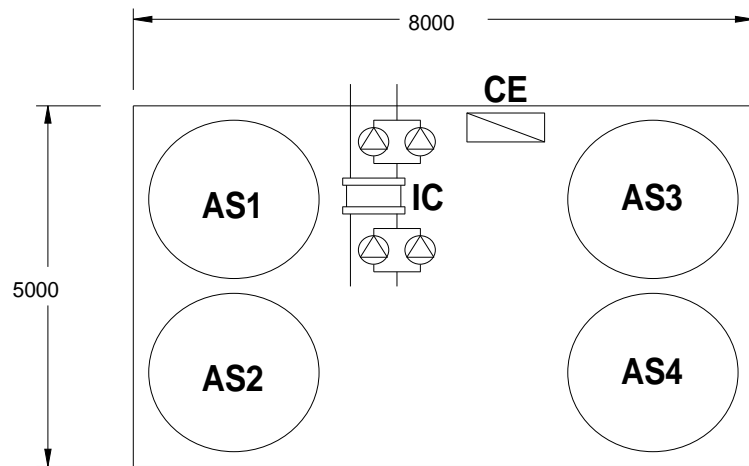
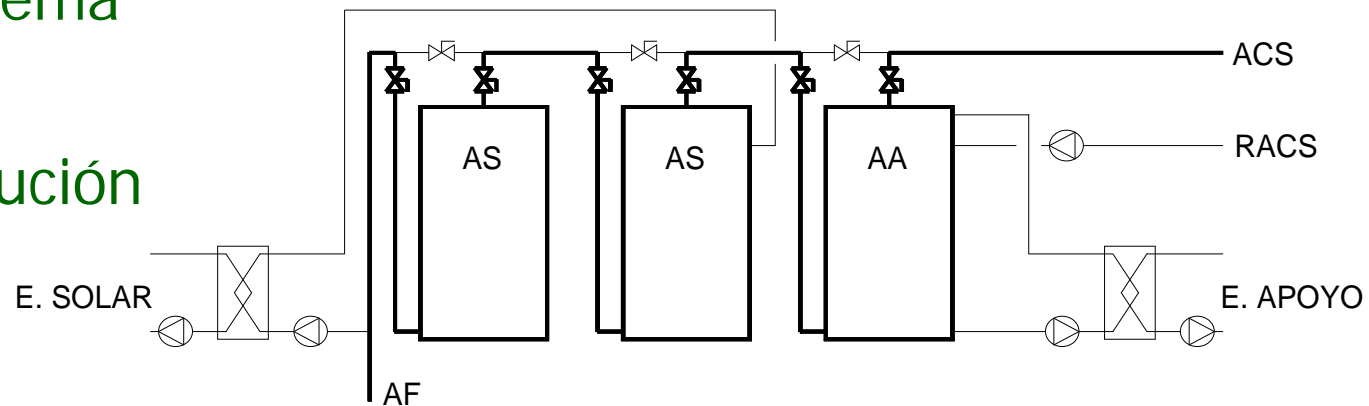
- Único: menor superficie por volumen almacenado
- Vertical: mejora la estratificación
- Interior: disminuye las pérdidas térmicas

Criterios para disponer varios acumuladores:

- por razones del espacio disponible,
- para conseguir una mejor distribución de las cargas,
- para aumentar la fiabilidad del sistema completo,
- para permitir la mantención sin paralizar la instalación,
- para utilizar acumuladores de fábrica y no realizados en obra,
- por razones económicas

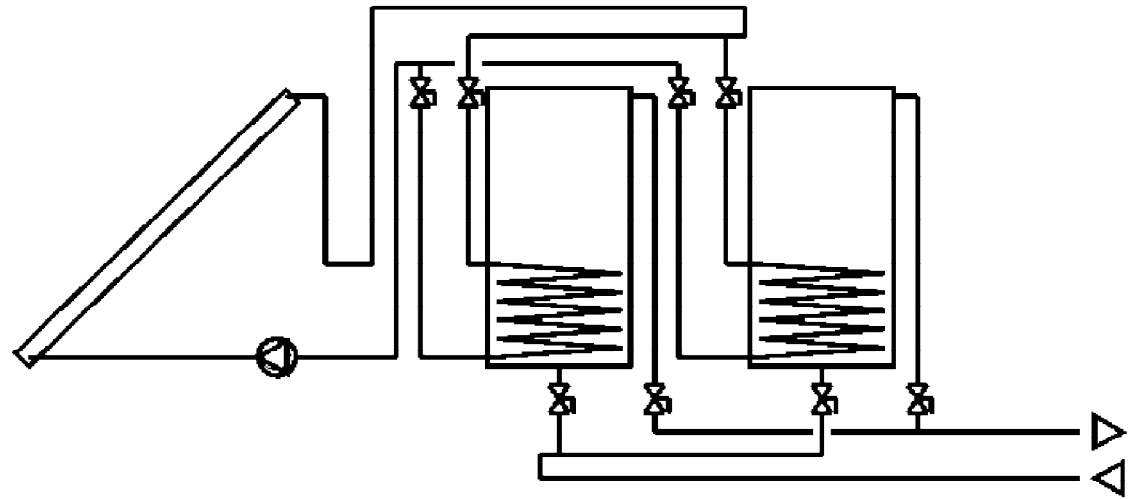
DISEÑO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN

- Dimensionado del sistema
- Definir ubicación
- Organización y distribución
- Espacios ocupados

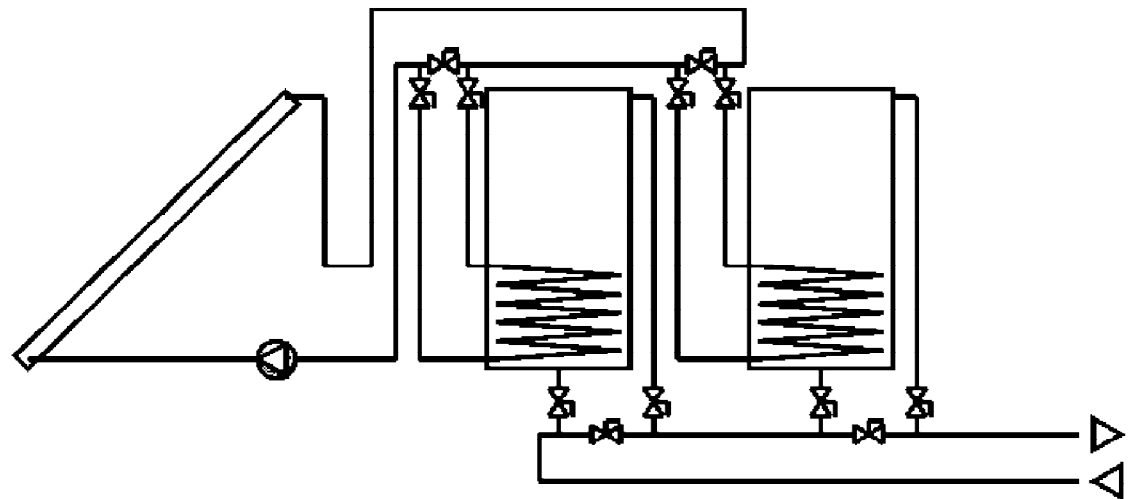


FORMAS DE CONEXIÓN CON INTERCAMBIADOR INTERNO

EN PARALELO

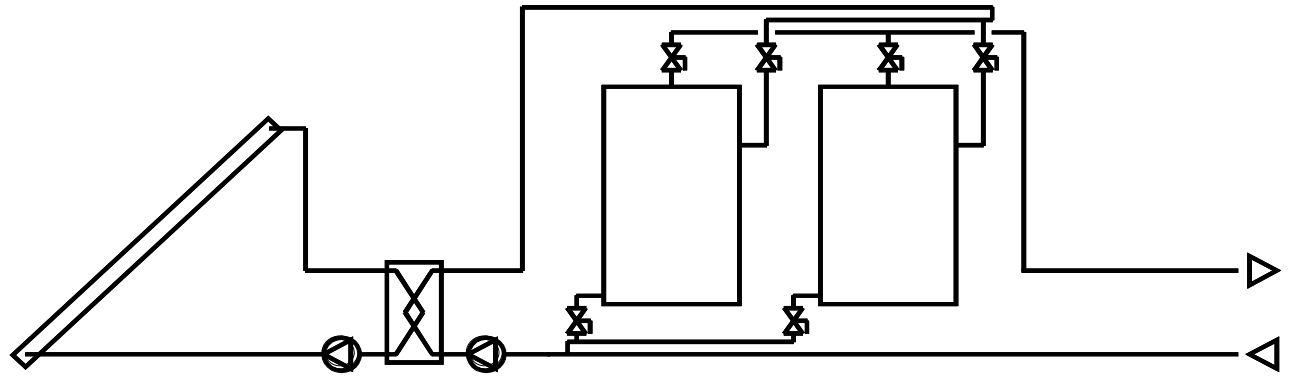


EN SERIE

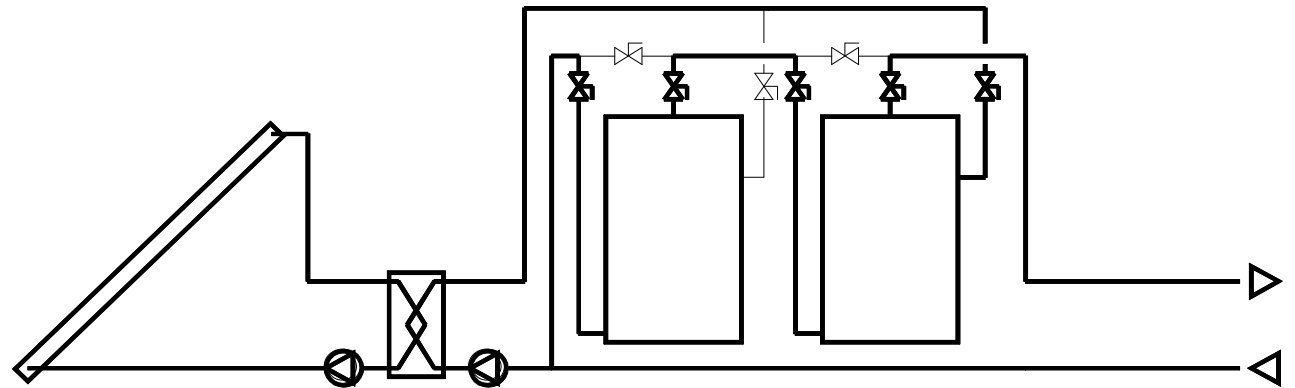


FORMAS DE CONEXIÓN CON INTERCAMBIADOR EXTERNO

EN PARALELO

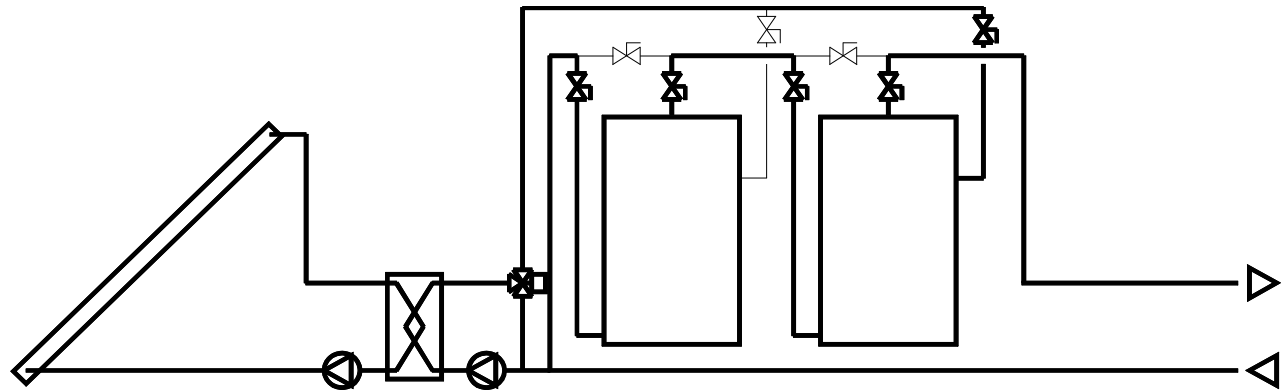


EN SERIE

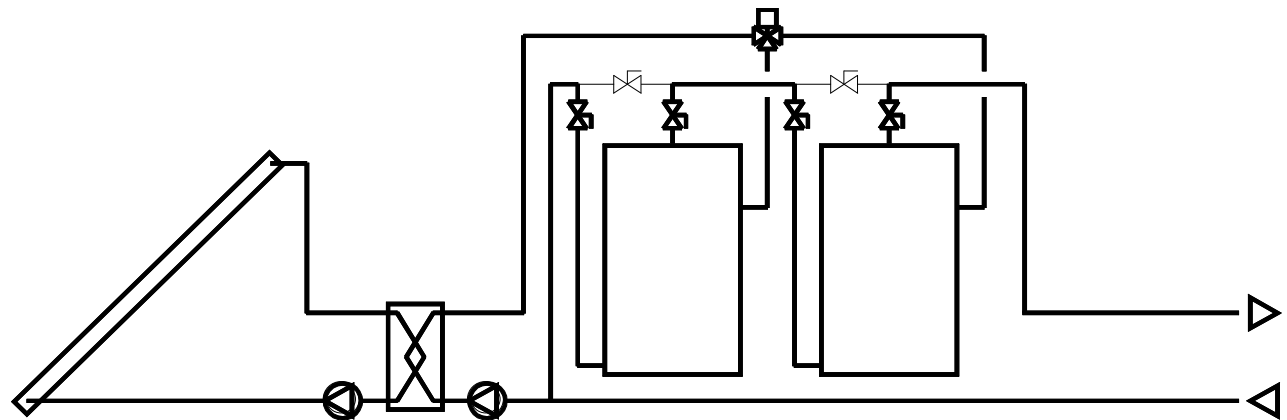


MEJORAS DEL CONEXIONADO EN SERIE

SOL 1



SOL 2



CRITERIOS PARA DISEÑAR SISTEMA DE ACUMULACIÓN

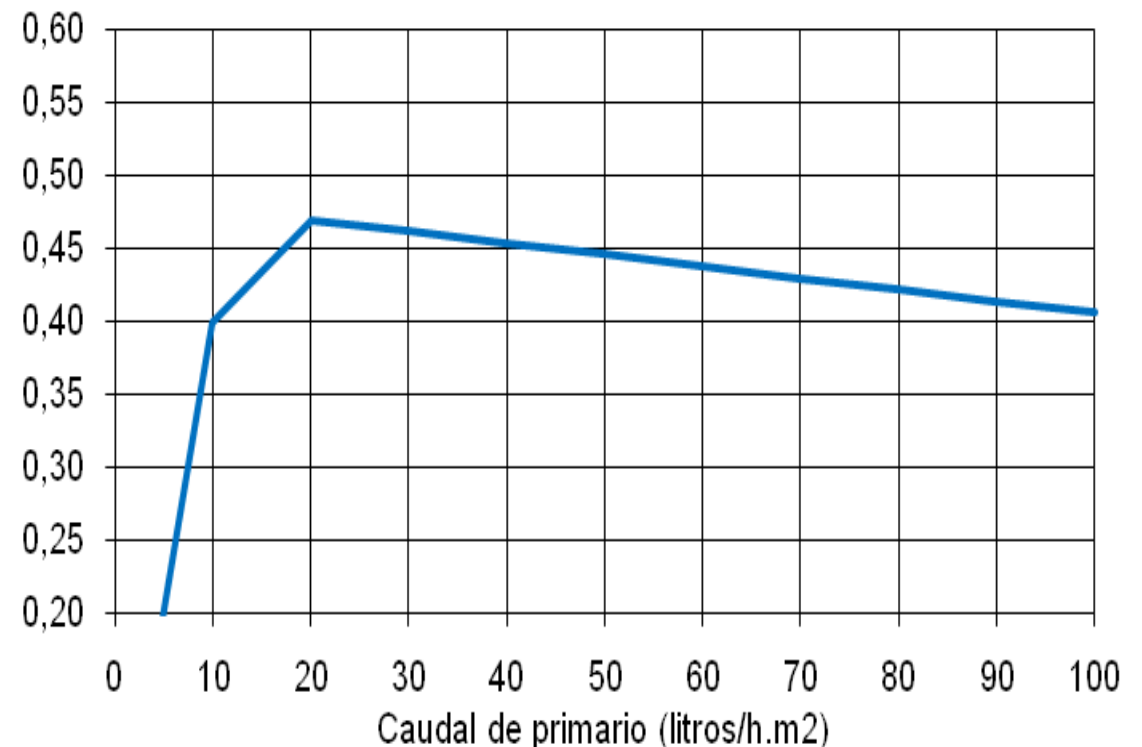
- Acumuladores del mismo tamaño
- Permitir la desconexión individual
- Equilibrado del conexionado en paralelo: controlar con la medida del caudal o temperaturas de salida.
- Mayor estratificación y ningún equilibrado del conexionado en serie
- Detallado diseño de los circuitos y del funcionamiento para garantizar estratificación y evitar las mezclas internas
- Otros condicionantes para el diseño en serie

CAUDAL DEL CIRCUITO PRIMARIO

- Caudales para garantizar transporte de calor:
- minimizar pérdidas de carga
- minimizar las pérdidas térmicas:

- Seleccionar caudal:
- entre 30 y 60 l/h.m²,
- En el rango del fabricante
- Análisis de sensibilidad

Rendimiento



CALCULO Y SELECCIÓN DE INTERCAMBIADORES

El dimensionado del intercambiador queda definido por, al menos, los siguientes parámetros:

- Potencia térmica
- Caudales de diseño de primario y secundario
- Temperaturas nominales de entrada y salida de ambos circuitos
- Efectividad del intercambiador (para capacidades caloríficas iguales):

$$\varepsilon = \frac{Q_{real}}{Q_{max}} = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

La efectividad se recomienda sea superior a 0,7

No confundir efectividad con el rendimiento intercambiador: es casi 1

CALCULO DEL INTERCAMBIADOR SOLAR

Intercambiador externo:

- La potencia térmica será como mínimo 500 W/m²
- Los caudales de diseño de primario y secundario no diferirán más de un 10%
- Con temperatura de entrada en primario de 50°C la temperatura de secundario sea superior a 45°C
- La pérdida de carga no será superior a 200 mbar

Intercambiador interno:

- El área útil de intercambio (A_{int}), la situada en la mitad inferior,
- En relación con el área de total de captación (A_c), cumplirá siempre la relación:

$$A_{int} \text{ (en m}^2\text{)} \geq 0,20 \cdot A_c$$

EJEMPLO DE CÁLCULO DE INTERCAMBIADOR EXTERNO

Definir las condiciones de diseño del intercambiador externo de una instalación solar de 100 m² si se quiere trabaje con un caudal de 50 l/h.m² y el fluido de trabajo es agua:

- Potencia: $57.900 \text{ W} > 500 * 100 = 50.000 \text{ W}$
- Caudal en primario y secundario: $50 * 100 = 5.000 \text{ l/h}$
- Salto térmico: $57.900 * 0,864 / 5.000 = 10 \text{ K}$
- Temperaturas de entrada y salida en primario: 50/40°C
- Temperaturas de entrada y salida en secundario: 36/46°C
- Efectividad: $(46-36) / (50-36) = 10/14 = 0,71 > 0,7$
- Pérdida de carga debe ser inferior a 200 mbar.

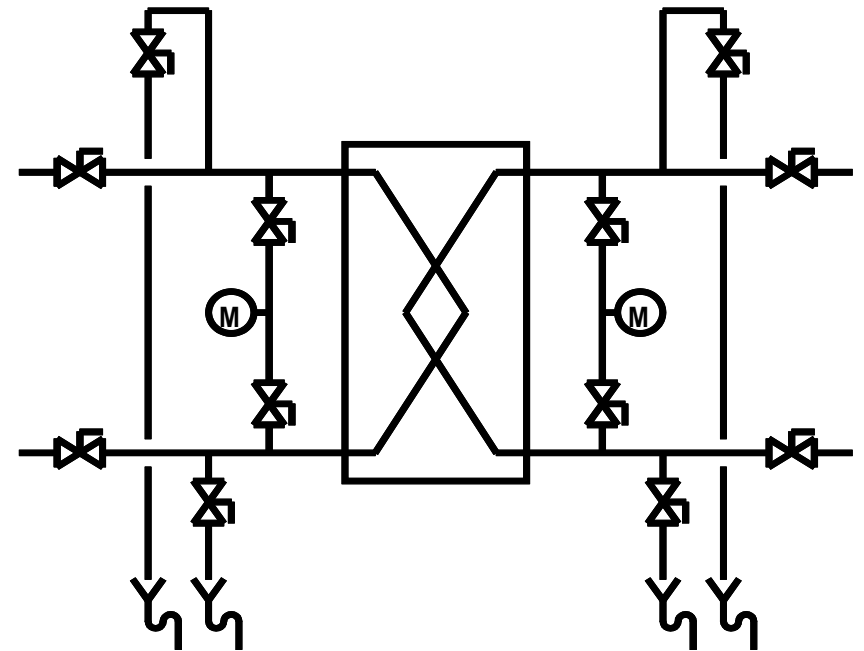
Adoptar el ratio de 579 W/m² (que es equivalente a 500 kCal/h.m²) facilita los cálculos correspondientes

DISEÑO DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO

En función del tamaño, completar la instalación con:

- válvulas de corte en las 4 conexiones
- válvulas de purga y desagüe en los 2 circuitos
- puentes manométricos en ambos circuitos

Prever desmontajes



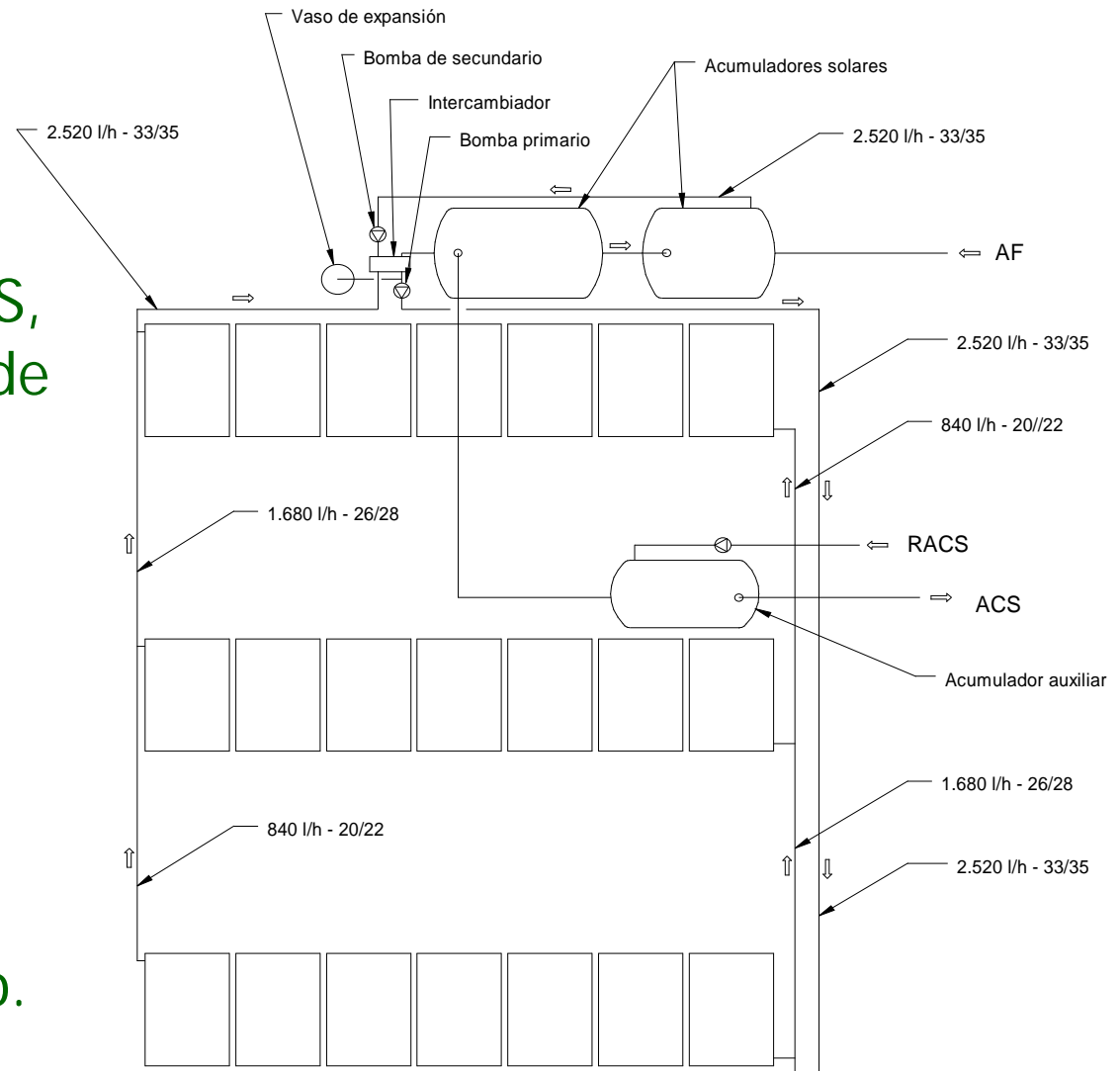
CIRCUITO HIDRÁULICO

- Esquema de funcionamiento
 - Trazado de cañerías y su equilibrado
 - Caudales de todos los circuitos
 - Dimensionado y selección del intercambiador
 - Dimensionado y selección de tuberías
 - Pérdida de carga de los circuitos
 - Dimensionado y selección de bombas
 - Elementos auxiliares del circuito
- Dispositivos de seguridad y protección
 - Protección de altas y bajas temperaturas
 - Diseño y dimensionado de sistemas de expansión

CIRCUITO HIDRÁULICO

Sobre planos a escala, el esquema de línea:

- Refleja la ubicación de componentes principales (CS, AS, INT, BC, VE, y SA) y el trazado de tuberías de todos los circuitos.
- Tendrá el grado de definición necesario para realizar el dimensionado de circuitos.
- Permitirá especificar el material, los diámetros de tuberías, el caudal nominal que circula por ellas y el espesor de aislamiento.



CÁLCULO DE TUBERÍAS

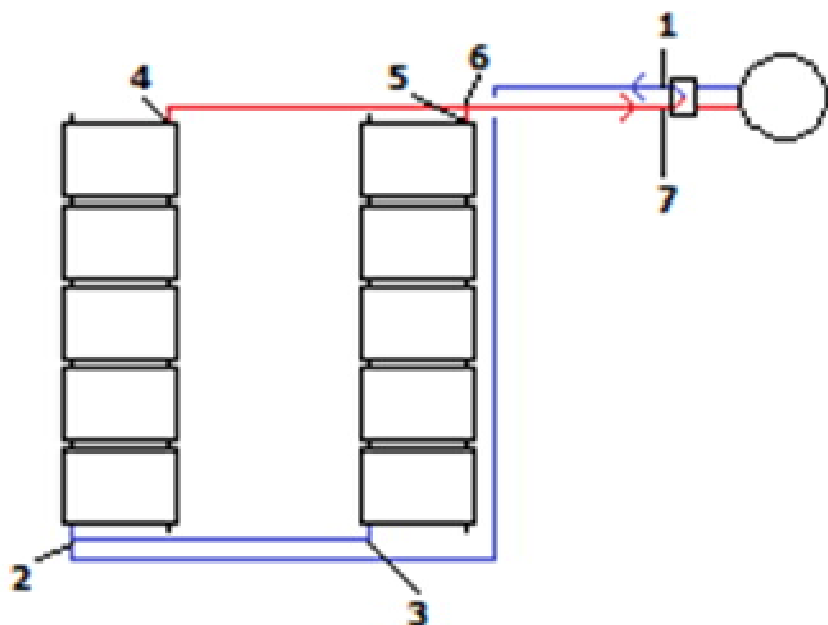
El cálculo de tuberías se realiza en función del caudal y se selecciona el diámetro de forma que:

- velocidad de inferior a 2 m/s en locales habitados o a 3 m/s en exterior o locales no habitados.
- velocidad superior a 0,3 m/s
- pérdida de carga unitaria inferior a 40 mm. c.a. por metro lineal de tubería

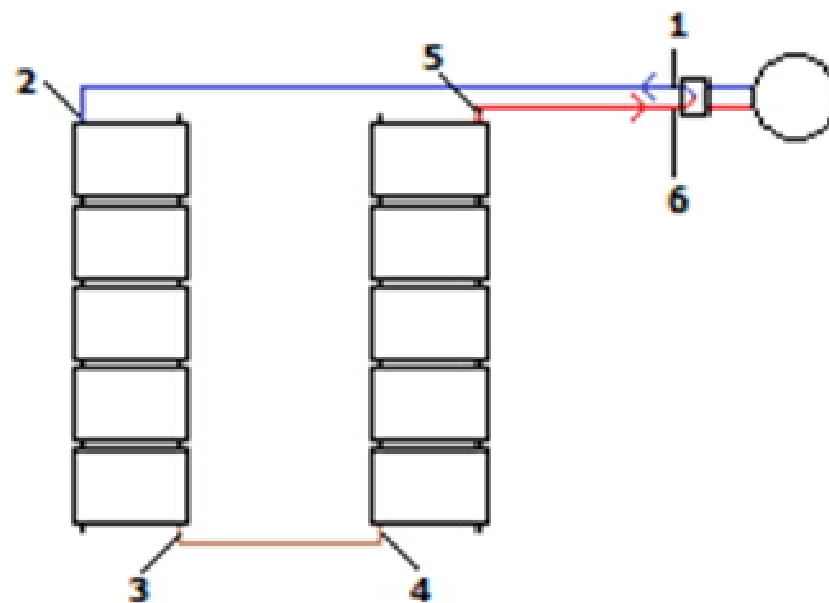
Diferencias en las pérdidas de carga de cada uno de los circuitos inferiores al 5% (equilibrado)

EJEMPLO ESQUEMA Y CALCULO DE CIRCUITOS 1

BATERIAS EN PARALELO



BATERIAS EN SERIE



EJEMPLO CÁLCULO DE TUBERÍAS 2

1 PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

CONEXIÓN SERIE

Número tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro ext (mm)	Vel. (m/s)	Diá. int. (mm)	m.c.a./m tub.	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Reduc.	Codos	Tes	Válvulas	Longitud equiv. (m)	mm. c. a. acc. tramo
1-2	21	1.200	28	0,63	26	20	425	425	1	5	1	1	19	378
2-3	5,5	600	22	0,53	20	20	111	536	0	2	0	1	9	189
5-6	1,5	600	22	0,53	20	20	30	566	0	2	0	1	9	189
6-7	6	1.200	28	0,63	26	20	121	687	1	3	1	1	16	330
Pérdida de carga en tuberías :								687	Pérdida de carga en accesorios :					1.087

2 PERDIDAS DE CARGA EN COLECTORES

Nº de colectores por batería	5	
Conexión interno de la batería	paralelo	
Número de baterías en serie	1	
Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)		916

3 PERDIDAS DE CARGA EN INTERCAMBIADOR

De datos fabricante (mm.c.a.)	1.100
-------------------------------	--------------

Coeficiente de seguridad adicional: 1,00

Total (mm.c.a.)	3.790
------------------------	--------------

EJEMPLO CÁLCULO DE TUBERÍAS 3

1 PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

CONEXIÓN SERIE

Número tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diámetro ext (mm)	Vel. (m/s)	Diá. int. (mm)	m.c.a./m tub.	mm.c.a. tramo	mm.c.a. acumulado	Reduc.	Codos	Tes	Válvulas	Longitud equiv. (m)	mm. c. a. acc. tramo	
1-2	12	600	22	0,53	20	20	241	241	0	2	0	2	17	342	
3-4	5,5	600	22	0,53	20	20	111	352	0	4	0	0	4	72	
5-6	7,5	600	22	0,53	20	20	151	503	0	3	0	1	10	207	
Pérdida de carga en tuberías :								503	Pérdida de carga en accesorios :					622	

2 PERDIDAS DE CARGA EN COLECTORES

Nº de colectores por batería	5
Conexionado interno de la batería	paralelo
Número de baterías en serie	1
Pérdidas de carga en colectores (mm.c.a.)	1.832

3 PERDIDAS DE CARGA EN INTERCAMBIADOR

De datos fabricante (mm.c.a.)	433
-------------------------------	------------

Coefficiente de seguridad adicional: 1,00

Total (mm.c.a.) 3.390

DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DE BOMBAS

La selección de la bomba circuladora se realiza en base a:

- caudal de diseño del circuito
- pérdida de carga total

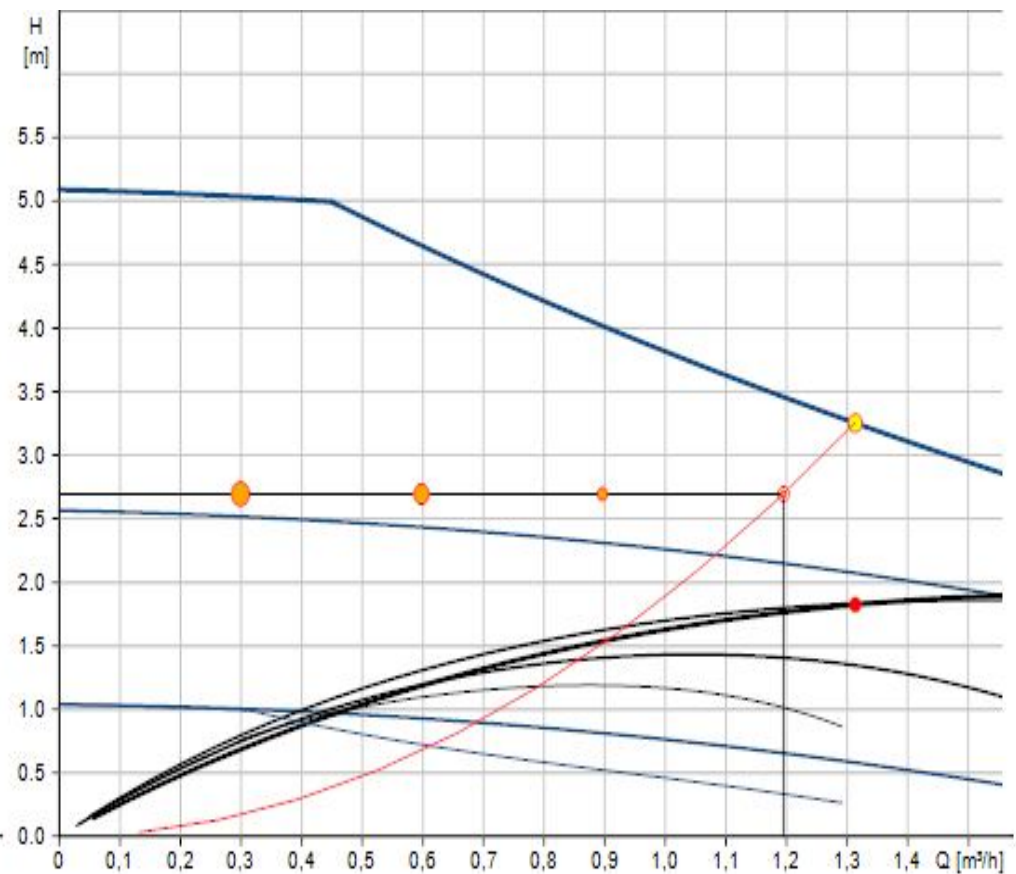
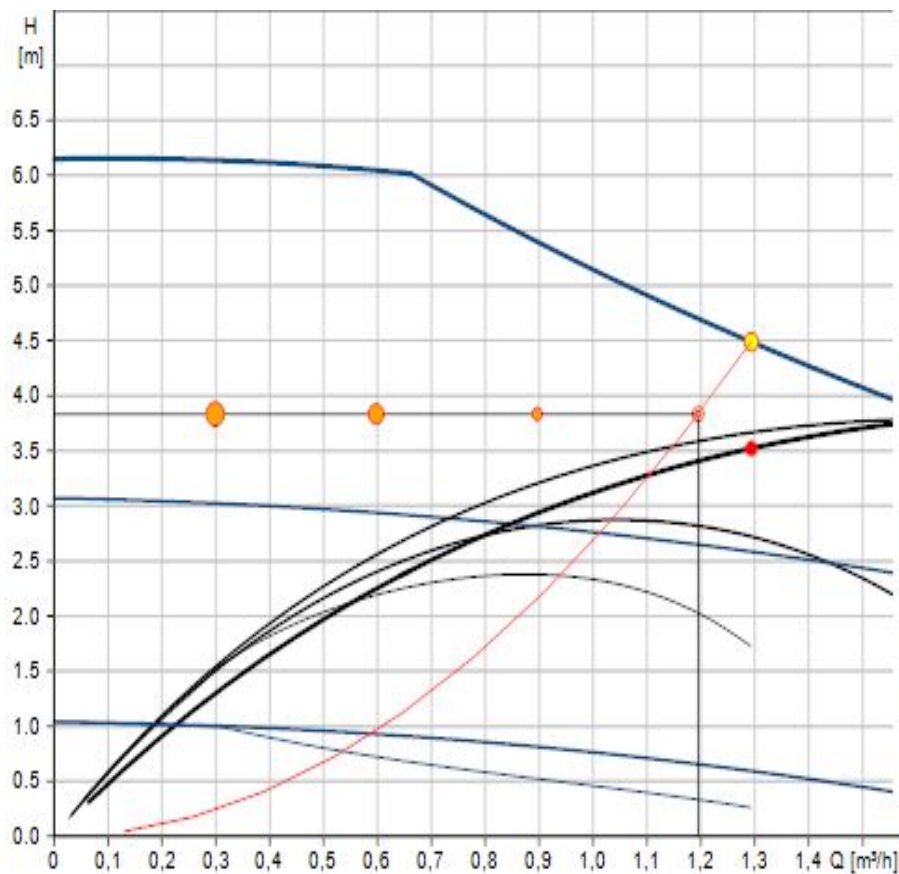
La potencia eléctrica no debe exceder el mayor valor de los siguientes:

- 50 W
- 1% de la potencia térmica máxima

EJEMPLO DE CÁLCULO DE BOMBAS

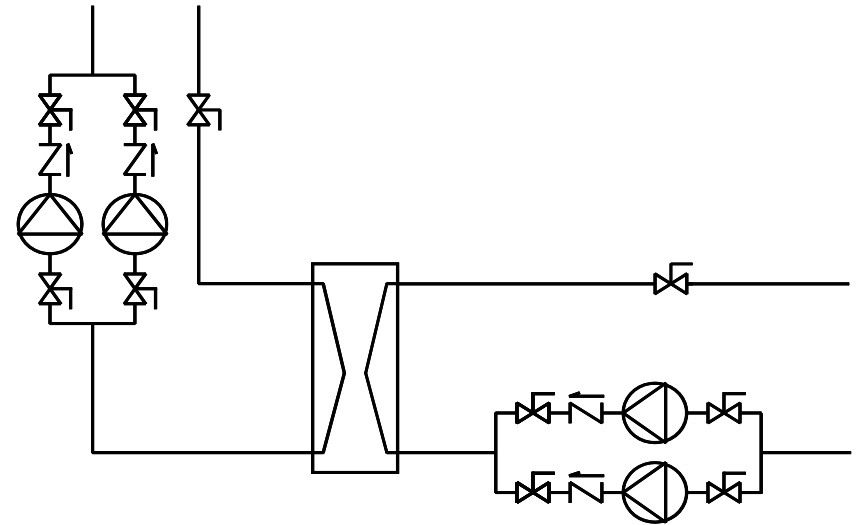
Calcular las bombas de una instalación solar cuyas condiciones de funcionamiento son:

Circuito primario: 1.200 l/h y 3,8 mca Circuito secundario: 1.200 l/h y 2,7 mca



DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

- se utilizarán bombas en línea
- situadas en las zonas más frías
- evitar zonas bajas de los circuitos
- bombas en paralelo para grandes instalaciones ($>50\text{m}^2$)
- con válvulas de corte y retención

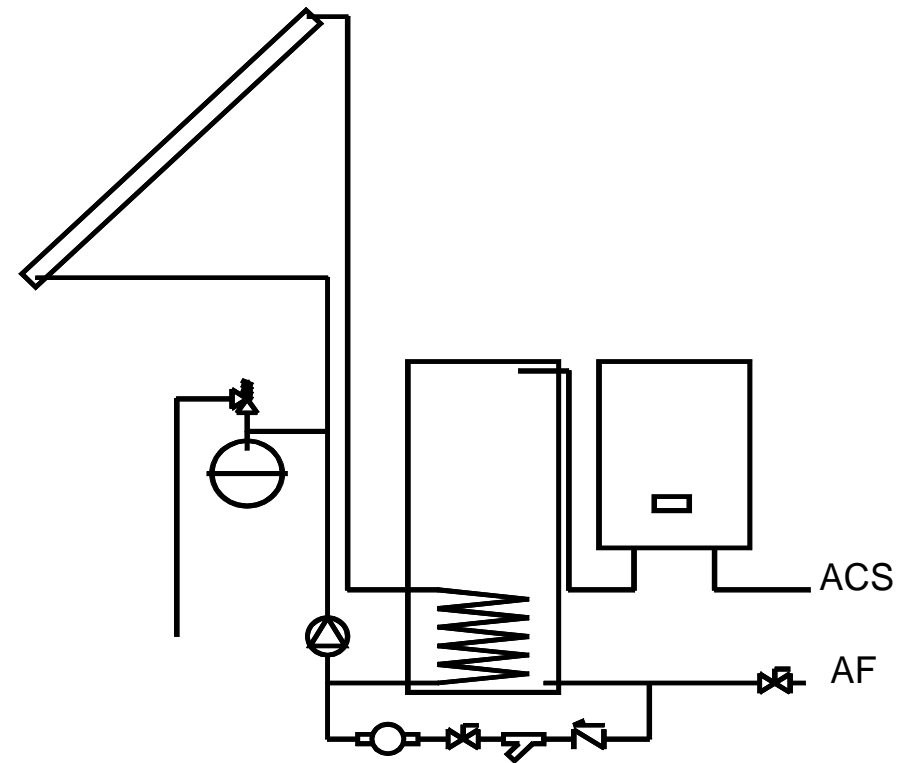
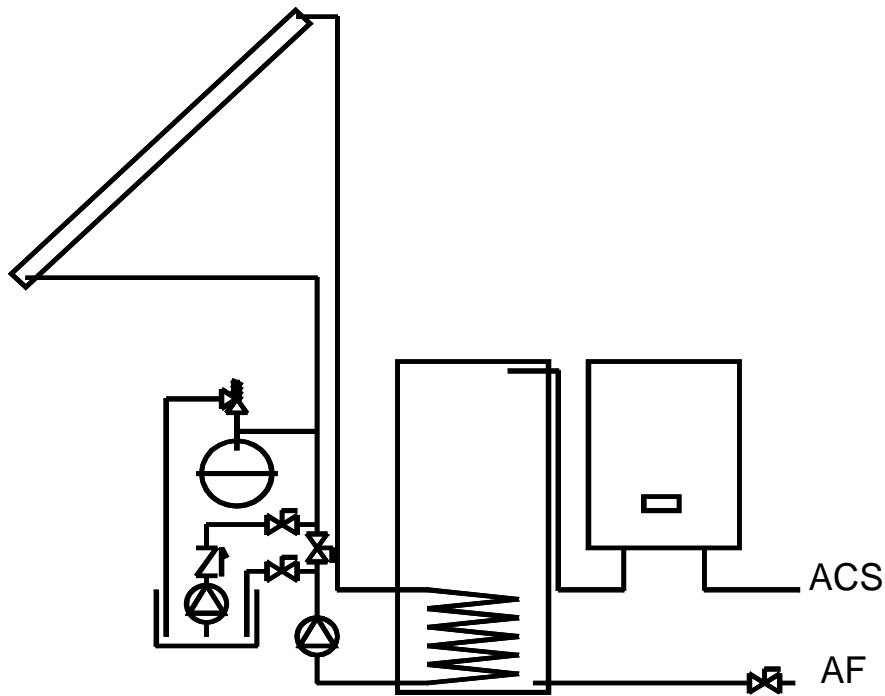


VALVULERÍA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

- Válvulas de corte
- Válvulas de seguridad
- Válvulas de retención
- Válvulas de equilibrado
- Válvulas de vaciado
- Válvulas de 3 vías (motorizadas o termostáticas)

EQUIPOS DE LLENADO

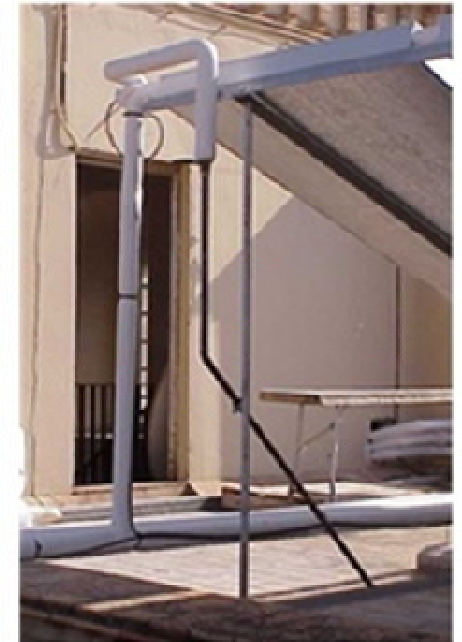
- De agua o de mezcla anticongelante
- Manual o automático



SISTEMAS DE PURGA

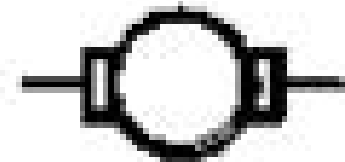
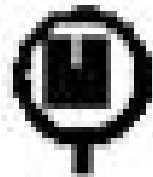
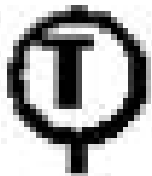
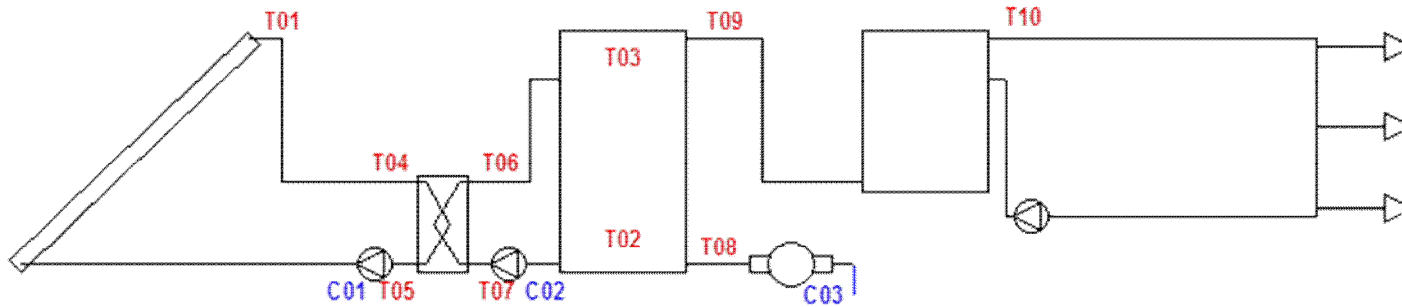
- el aire reduce la capacidad de transferencia de calor de circuitos
- debe evitarse su entrada y facilitar su evacuación
- el aire interior puede proceder de:
 - el existente en circuitos antes del llenado
 - entradas por cualquier elemento en depresión
 - del disuelto en el agua o el fluido caloportador
- acumulación de aire:
 - en puntos altos
 - en sifones invertidos que deben evitarse
- utilizar purgadores de aire manuales

SISTEMAS DE PURGA



EQUIPOS DE MEDIDA

Termómetros, manómetros, caudalímetro y contador de calor



AISLAMIENTO DE TUBERÍAS

- Todas las tuberías, accesorios y componentes de la instalación se aislarán y el aislamiento no dejará zonas visibles ni de tuberías ni de sus accesorios.
- No se aislarán los depósitos de expansión ni el ramal de conexión entre el depósito de expansión y la línea principal del circuito.
- El aislamiento de tuberías a la intemperie llevará una protección externa que asegure su máxima durabilidad. Son las más recomendables la protección con chapa de aluminio. Son admisibles revestimientos con pinturas asfálticas o poliésteres reforzados con fibra de vidrio.

ESPESORES DE LA AISLAMIENTO

Espesores mínimos de aislamiento para $\lambda = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$:

- Para $D \leq 35 \text{ mm}$ De 20 mm. en interior
 De 30 mm en exterior
- Para $D > 35 \text{ mm}$ De 30 mm. en interior
 De 40 mm en exterior
- Para circuitos en funcionamiento continuo : + 5 mm
- Para circuitos finales con $D \leq 20 \text{ mm}$ y longitud inferior a 5 metros: 10 mm.

Transformación para distinta conductividad

- Cálculo de la pérdidas térmicas

SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

- se encarga de gobernar el correcto funcionamiento:
 - maximizar la energía solar aportada
 - minimizar el consumo de energía de apoyo
- el sistema más usual para la instalación solar es el control diferencial
- adicionalmente el sistema de control puede utilizarse para protección y seguridad

