

**E**l diseño de una red hidráulica depende principalmente de la habilidad del proyectista para evaluar patrones y modelos relacionados con las cargas térmicas que se necesitan contrarrestar. Los siguientes capítulos tienen como objetivo introducir conceptos de diseño, que resultan fundamentales a la hora marcar diferencias entre proyectos. Más concretamente, en este tema se detallan cada una de las partes principales de las que se compone una red hidráulica. Además se proponen algunos diseños y se describen varias piezas fundamentales que no pueden faltar en una red de tuberías.

## 8.1 – Componentes básicos de un circuito

### A) GENERADOR TÉRMICO

Se le llama *generador térmico* al equipo encargado de extraer o aportar energía al fluido caloportador para ser transportado a la unidad terminal. La cantidad de energía que entra o sale del sistema por el generador es igual a la cantidad de energía que llega a la carga más las pérdidas como consecuencia de la circulación del fluido por la red hidráulica. Tipos de *generadores térmicos* son calderas, plantas enfriadoras, plantas de absorción...

### B) UNIDAD TERMINAL

La *unidad terminal* es el punto hacia donde fluye la energía. De la misma forma que entra energía a través de los generadores térmicos, existen determinados puntos en nuestro sistema que requieren esa energía, para luego transmitirla a la zona a climatizar. Tipos de cargas son baterías de frío, baterías de calor, fancoils...

### C) BOMBAS

Una *bomba* es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada, en energía hidráulica. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura. En general la bomba se usa para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

### D) VÁLVULAS

Las válvulas son dispositivos mecánicos con los que se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

### E) TUBERÍAS PARA EL TRANSPORTE DEL FLUIDO

Conducto que cumple la función de transportar el agua o fluido caloportador desde el generador térmico hasta la unidad terminal.

### F) ACCESORIOS PARA EL TRANSPORTE DEL FLUIDO

Se llaman accesorios a todos los elementos puntuales (codos, térs...) que permiten el transporte físico del fluido y su control desde el generador térmico hacia la carga.

G) DEPÓSITO DE EXPANSIÓN

Recipiente cerrado utilizado en todo tipo de redes hidráulicas para absorber la presión del agua causada por las variaciones de temperatura del fluido caloportador (normalmente agua).

## 8.2 – Clasificación de los sistemas hidráulicos

### 8.2.1- Sistema a dos, tres y cuatro tubos

Los sistemas hidráulicos que unen las unidades de generación de agua fría y caliente con las unidades terminales o cargas pueden ser de dos, tres o cuatro tubos (1). La elección del tipo de sistema a utilizar tubos se conoce únicamente después de haber realizado el estudio del cálculo de cargas sobre el edificio a estudiar.

- Instalación a dos tubos:

Una instalación a dos tubos implica que únicamente se puede producir o frío o calor. Se emplea una única tubería para la impulsión y otra para el retorno de agua. Este tipo de instalaciones tienen como limitación que sólo pueden producir frío o calor, y no ambas simultáneamente.

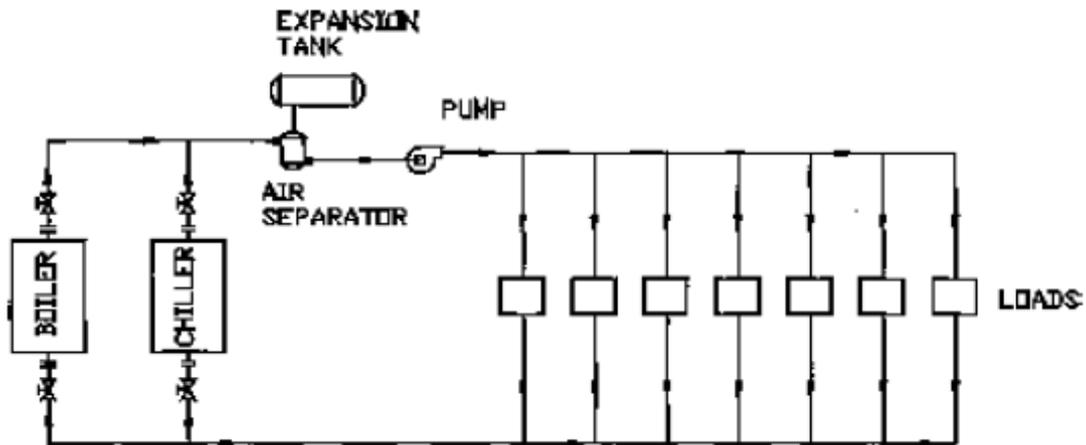


Figura 8.1 – Ejemplo de inst. a dos tubos con caldera (boiler), enfriadora (chiller) alimentando las cargas (loads)

- Instalación a tres tubos:

Se emplean dos tuberías separadas en la impulsión que transportan agua fría y caliente, cada una desde su unidad generadora a las unidades terminales o cargas y una tubería común para el retorno de agua entre éstas y las unidades de generación (ver figura 8.2). Esta instalación se utiliza cuando en un edificio se puede dar casos de inversión térmica permitiendo que se pueda transportar agua fría o caliente a las unidades terminales en función de las necesidades simultáneas del edificio.

No obstante su bajo rendimiento hace que estas instalaciones hayan caído en desuso en los últimos años.

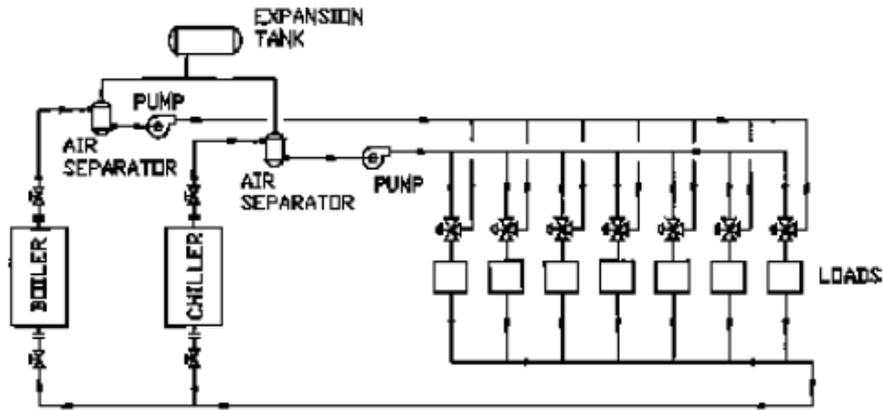
**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

Figura 8.2 – Instalación a tres tubos, se comparte el retorno.

- Instalación a cuatro tubos:

Se emplean dos tuberías independientes tanto en la impulsión como en el retorno que transportan una el agua fría y otra el agua caliente, cada una entre su unidad generadora y las unidades terminales (ver figura 8.3). Dado que el rendimiento de los equipos de producción de frío y de calor viene condicionado por las temperaturas de retorno, es decir, por el salto térmico con el que trabajan (enfriadoras de 5 - 6 °C, calderas de 15 - 20 °C) el disponer de circuitos bien diferenciados, se puede seleccionar entre enfriamiento y calentamiento todo el año con una mejor eficiencia que los sistemas a tres tubos.

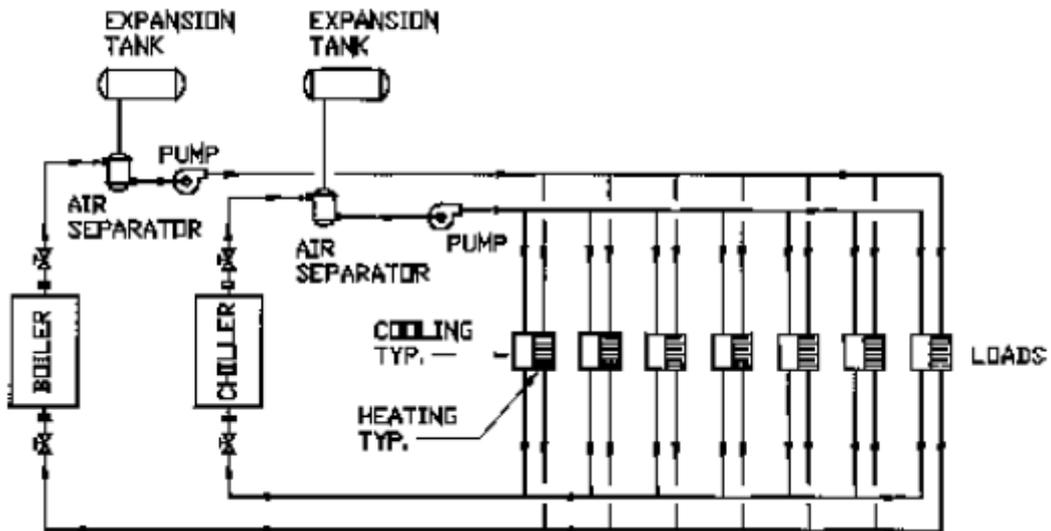


Figura 8.3 – Sistema a cuatro tubos. Deben de llevar dos tanques de expansión (Expansion tank)

**8.2.2 – Circuitos primarios y secundarios**

Circuito primario: Circuito recorrido por el agua que atraviesa el generador térmico hasta un acumulador o bypass

Circuito secundario: Circuito recorrido por el agua y que atraviesa la unidad terminal hasta un acumulador o bypass.

Existen muchas razones por las que se requiere separar hidráulicamente un único circuito en dos (2). La principal es poder tener varios circuitos secundarios y poder pararlos cuando estos no operen. Además, hay que recordar la necesidad de que una parte de la instalación (circuitos primarios) puedan funcionar a caudal constante y la otra a caudal variable. De hecho, los generadores térmicos, enfriadoras, calderas... funcionan a caudal constante, mientras que en el circuito secundario puede convenir que la distribución del agua sea a caudal variable.

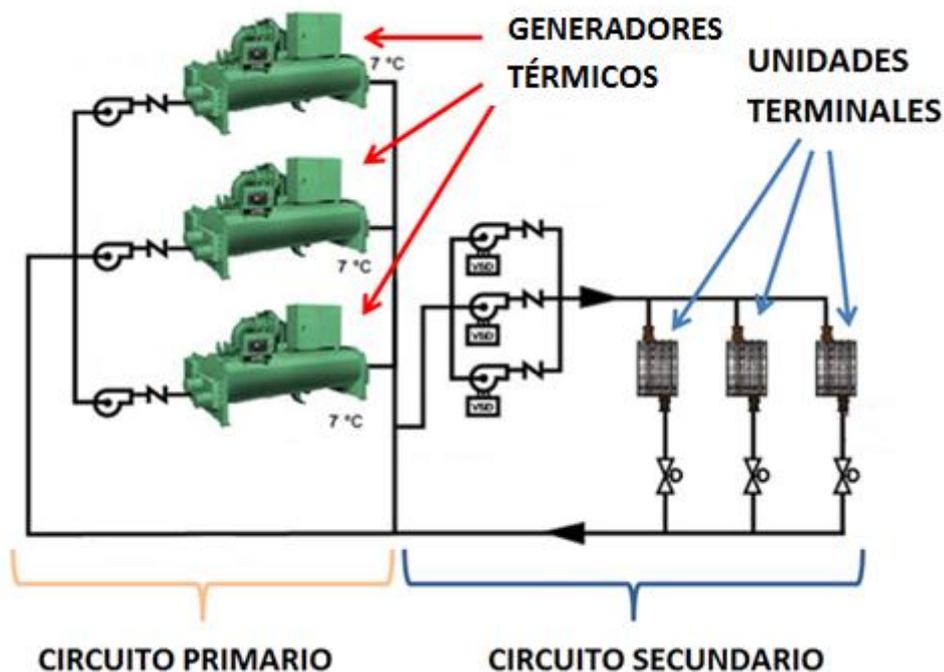


Figura 8.4 – Identificación de circuito primario y secundario

**8.2.3 – Según la distribución del caudal**➤ *Distribución a caudal constante:*

La figura 8.5 muestra un esquema de distribución a caudal constante mediante válvulas de tres vías. Cada unidad terminal lleva asociada una válvula de tres vías, una válvula en paralelo y otra válvula de equilibrado en serie. La válvula de equilibrado conectada en serie es imprescindible para permitir el equilibrado del circuito (véase Tema 9: Equilibrado hidráulico).

Se trata de un sistema típico en instalaciones de fancoils (3). La válvula en paralelo localizada en el bypass no se instala generalmente, pero para que el circuito sea realmente a caudal constante, la pérdida de presión en el tubo de bypass debe ser la misma que la de la batería del fancoil.

En los circuitos a caudal constante, el caudal, la pérdida de presión, y por tanto la potencia de bombeo permanece constante (1). Se trata de esquemas que a cargas parciales pueden llevar consumos de energía por bombeo importantes.

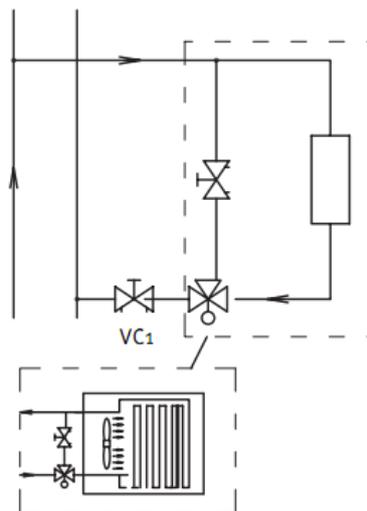


Figura 8.5 – Distribución a caudal constante

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS****VENTAJAS:**

- La altura de la bomba es constante, las pérdidas de carga en las tuberías de distribución también lo son. Por lo tanto, cada circuito recibe una presión diferencial constante y las condiciones de funcionamiento se mantienen en todas las cargas, lo que es beneficioso para los bucles de control.
- El dimensionamiento de las válvulas de control es fácil. Para una válvula de tres vías en un circuito de derivación se basa en la misma pérdida de carga que para la unidad de terminal, en condición de diseño. Esta pérdida de carga suele ser bien conocida. La autoridad de la válvula de control es constante, y en algunos casos puede estar cerca de 1.
- La temperatura del agua de impulsión es más uniforme para toda la instalación.

**INCONVENIENTES:**

- Los costes de bombeo no disminuyen con la carga. Al cerrarse las válvulas de tres vías y hacer circular el agua por el bypass, se está bombeando un cierto caudal que no se utiliza.
- El diseño de todo el sistema de distribución debe tener en cuenta que todos los terminales funcionan al máximo caudal constantemente. No es posible diseñar la instalación con un factor de simultaneidad.
- La temperatura del agua de retorno no se reduce al mínimo en calefacción ni aumenta al máximo en refrigeración. Esto no es nada adecuado en sistemas que utilicen como generador térmico calderas de condensación o cogeneración.
- Cuando hay varias unidades de producción funcionando en secuencia, los caudales de producción y distribución no son compatibles a cargas parciales. Esta diferencia genera un punto de mezcla y a temperatura del agua de impulsión no se puede mantener constante, lo que causa problemas en los sistemas de refrigeración.

*Sistema a caudal constante permite un control mucho más sencillo, aunque se trata de un sistema energéticamente muy poco eficiente*

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**➤ **Distribución a caudal variable:**

En las distribuciones a caudal variable, el caudal de la red varía al modificarse la posición de las válvulas de control de los elementos terminales (3). Las válvulas de control son en este caso de dos vías.

Las distribuciones a caudal variable son más habituales en circuitos secundarios ya que en los circuitos primarios debe establecerse un caudal mínimo (1). No olvidemos nunca que los generadores térmicos deben de trabajar a caudal constante.

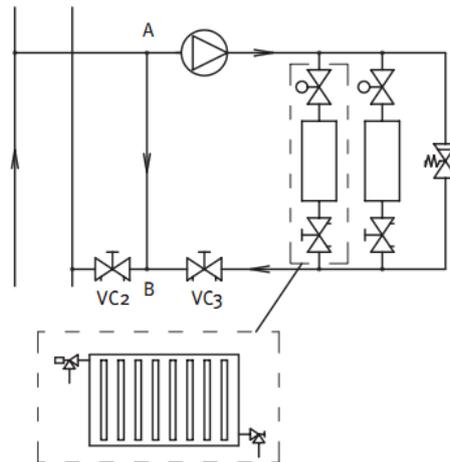


Figura 8.6 – Distribución a caudal variable

Para evitar caudales elevados en tuberías y elementos terminales para ahorrar energía de bombeo, es muy recomendable que los circuitos a caudal variable vayan provistos de bombas con variador de frecuencia.

**VENTAJAS:**

- Los costes de bombeo dependen del producto de la altura de la bomba por el caudal de agua. Cuanto más reducen el caudal las válvulas.
- La instalación se puede diseñar con un cierto factor de simultaneidad. Éste podría ser el motivo principal de la conversión de un sistema de caudal constante a variable, puesto que permite una expansión de la instalación mediante el uso de las mismas tuberías.
- Dado que la plena carga es infrecuente, las tuberías se pueden diseñar con pérdidas de carga superiores, lo que reduce los costes de inversión.
- La temperatura del agua de retorno se puede reducir al mínimo en calefacción y aumentar al máximo en refrigeración. Esto es importante en la calefacción cuando se utilizan calderas de condensación y sistemas de producción de frío de alta temperatura.

**INCONVENIENTES:**

## TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS

- Las presiones diferenciales sobre los circuitos son variables. Esto afecta a la válvula de control y a la propia estabilidad del sistema. Son difíciles de controlar y requieren un sistema muy cuidadoso.
- Los circuitos son interactivos. Cuando se cierra una válvula de control, la presión diferencial sobre el resto de circuitos aumenta. Las válvulas de control correspondientes se deben cerrar para compensar. Si uno o varios bucles son inestables, los problemas de control se pueden extender a todos.
- Con una carga normal del 50%, el caudal se reduce al 20 % y las presiones diferenciales disponible en todos los circuitos aumentan considerablemente, con lo que se reduce de forma significativa la autoridad de las válvulas de control, con el consiguiente riesgo de inestabilidad.
- Es exigido un caudal mínimo para proteger la bomba, lo que hace necesarias soluciones específicas. Los generadores térmicos y las bombas necesitan trabajar con un caudal de agua constante.

*Sistemas a caudal variable requiere un diseño minucioso de la instalación así como soluciones específicas, sin embargo, son sistemas energéticamente muy eficientes.*

## 8.2.4 – Sistemas de retorno directo e inverso

- Sistema de retorno directo: En este sistema, el agua que sale del equipo de bombeo alimenta a los diferentes equipos que lo requieren en forma consecutiva, es decir, primero al equipo que se localiza más cerca y al último al que al que se encuentre más alejado. La tubería de retorno normalmente es una tubería paralela a la de alimentación, pero que circula en sentido contrario, es decir, recoge primero el retorno del equipo más alejado y finalmente el del equipo más cercano, para así regresar al equipo de generación de agua fría o caliente.

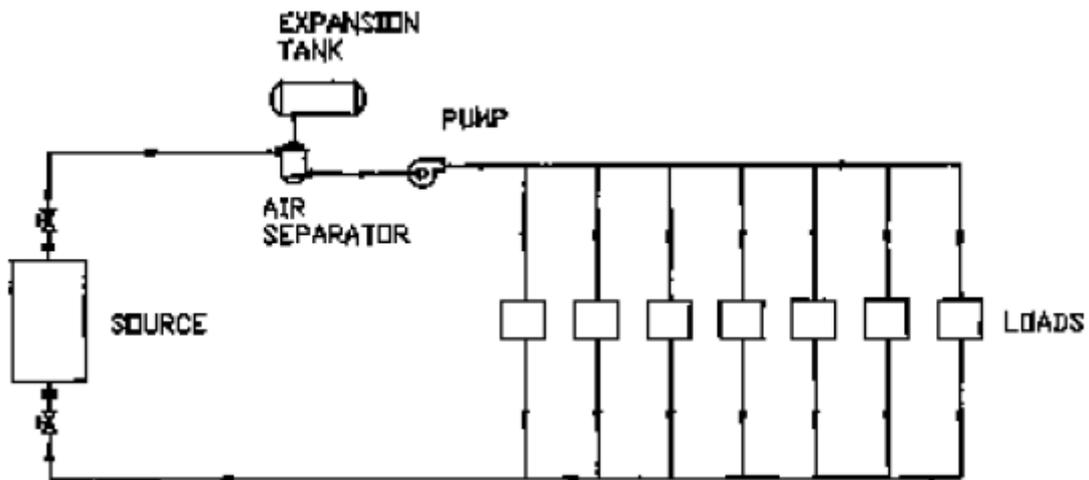


Figura 8.7 – Esquema de un sistema de retorno directo, desde el generador (source) hasta las cargas (loads)

- Sistema de retorno inverso: Son sistemas hidráulicos en los que la longitud del sistema de impulsión y de retorno es prácticamente igual. Como se puede ver en la figura 8.8, es precisamente en la tubería de retorno donde difiere con el sistema de retorno directo. El equipo más cercano es el primero en ser alimentado, mientras que el en el retorno, se convierte en el último, de esta forma, la impulsión y el retorno tiene la misma longitud. En este tipo de sistemas se requiere de mayor cantidad de tubería, pero tiene la gran ventaja que el sistema queda casi totalmente balanceado desde el momento de su construcción.

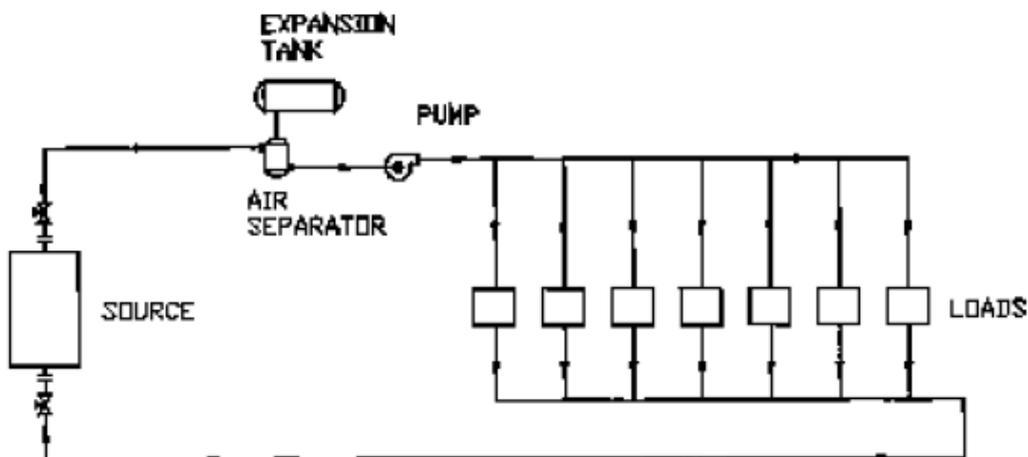


Figura 8.8 – Esquema de un sistema de retorno inverso

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

- Sistemas mixtos: Los dos sistemas anteriores pueden combinarse formando sistemas como los indicados en las siguientes figuras.

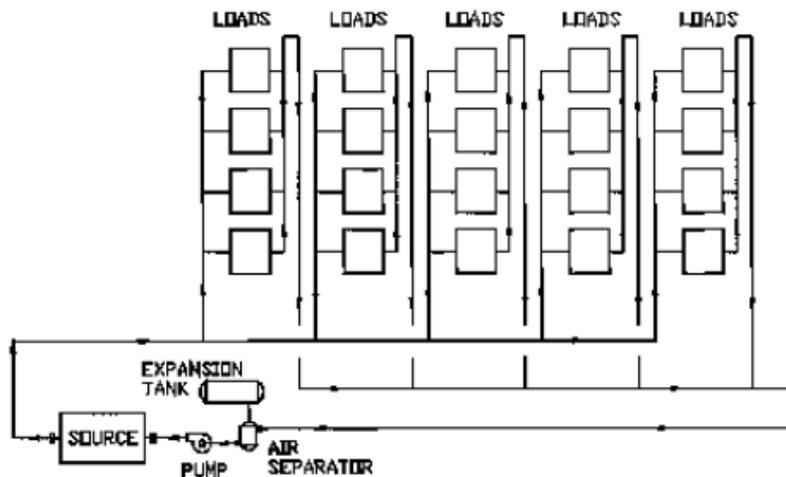


Figura 8.9 – Esquema con retorno inverso en el circuito primario y en el secundario

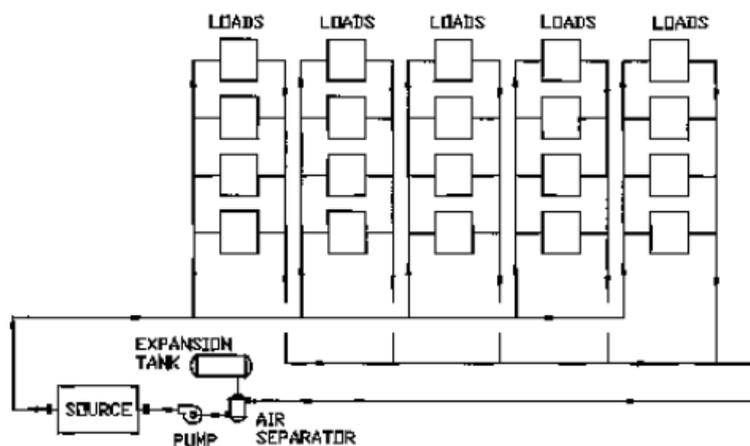


Figura 8.10 – Esquema con retorno inverso en el circuito primario y directo en el secundario

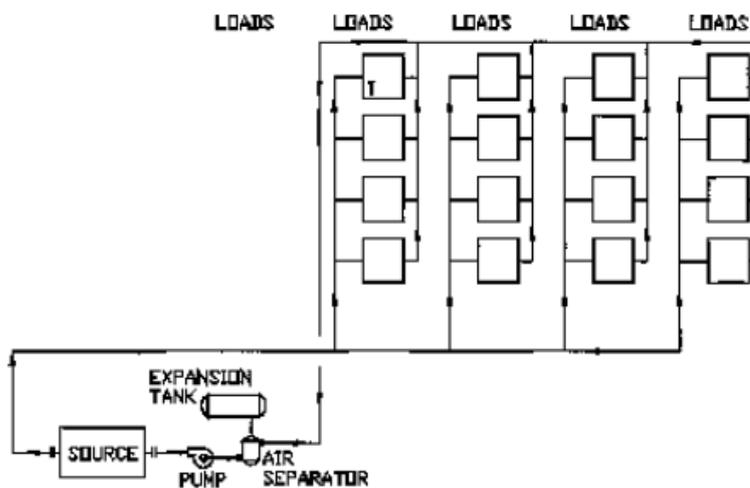


Figura 8.11 – Esquema con retorno directo en el circuito primario e inverso en el secundario

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

*Problema 8.1* – ¿Serías capaz de identificar cada una de las partes y el tipo de distribución del siguiente circuito?, ¿Podrías adivinar el número de tubos que lleva la instalación?

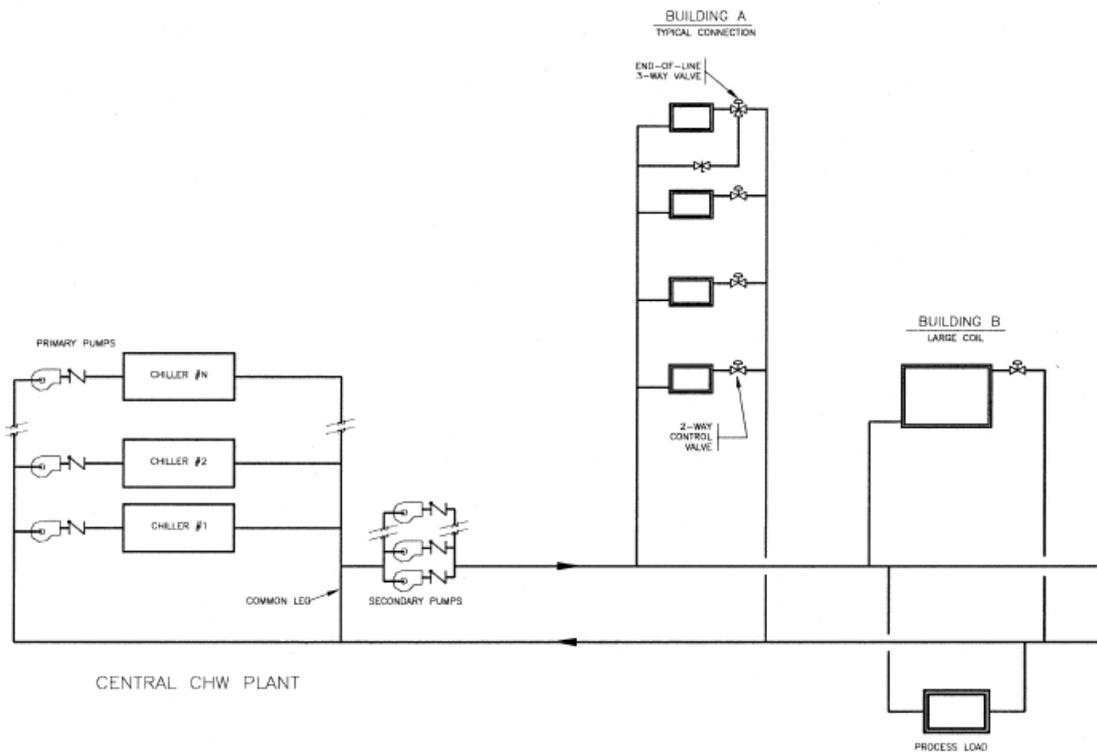


Figura 8.12 – Esquema de principio de una instalación

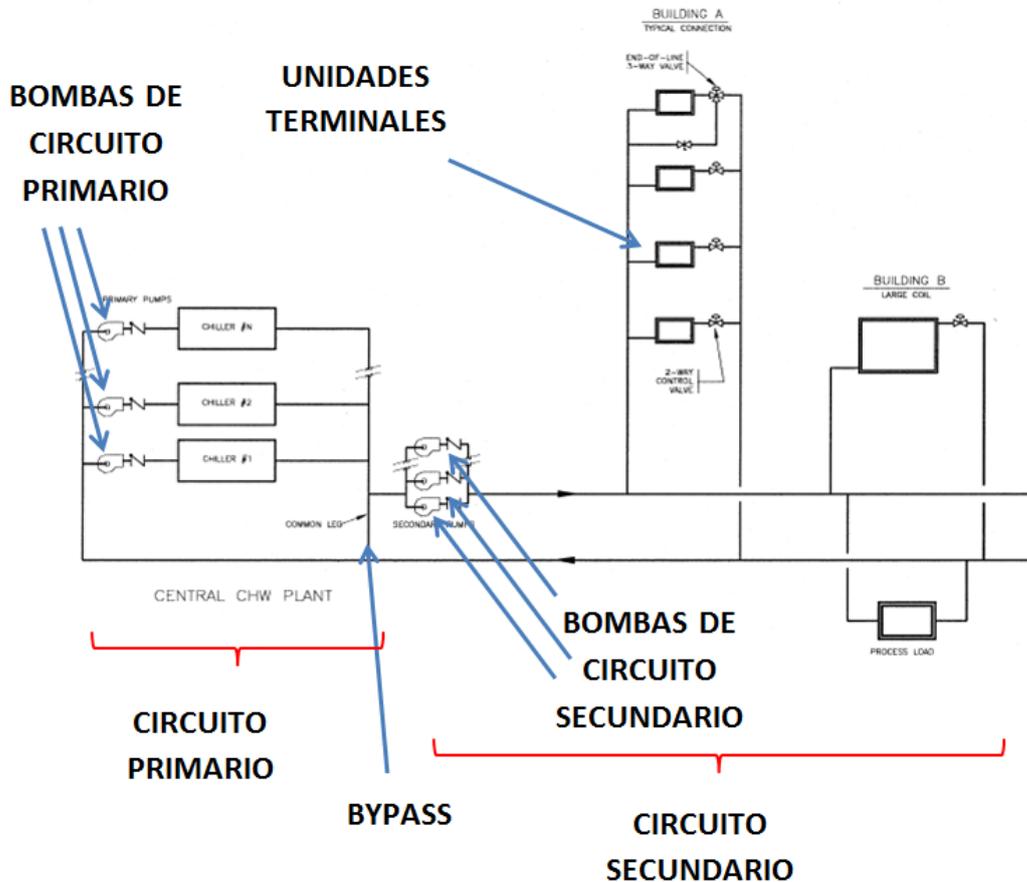
**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

Figura 8.13 – Esquema de principio de una instalación

Sistema de distribución a caudal variable y a dos tuberías. Es importante mencionar el sistema de distribución empleado. Como podemos observar, la última unidad terminal no emplea un sistema de distribución a variable. Esto se utiliza para poder absorber rápidamente variaciones de presión, de modo, y poder controlar mucho mejor cada uno de los módulos (ver tema 9.4), en los que se divide la instalación.

### 8.3 – El bypass entre circuitos primarios y secundarios

Existen varios conceptos muy importantes a la hora de diseñar un sistema de distribución de agua para climatización. El primero de ellos es la necesidad de diseñar un sistema que funciona con unidades de producción de energía (generadores térmicos) a caudal constante, mientras que las unidades terminales funcionan a caudal variable (dependen de la demanda térmica).

#### Carga de carga sensible de refrigeración a TC el 8 Mayo

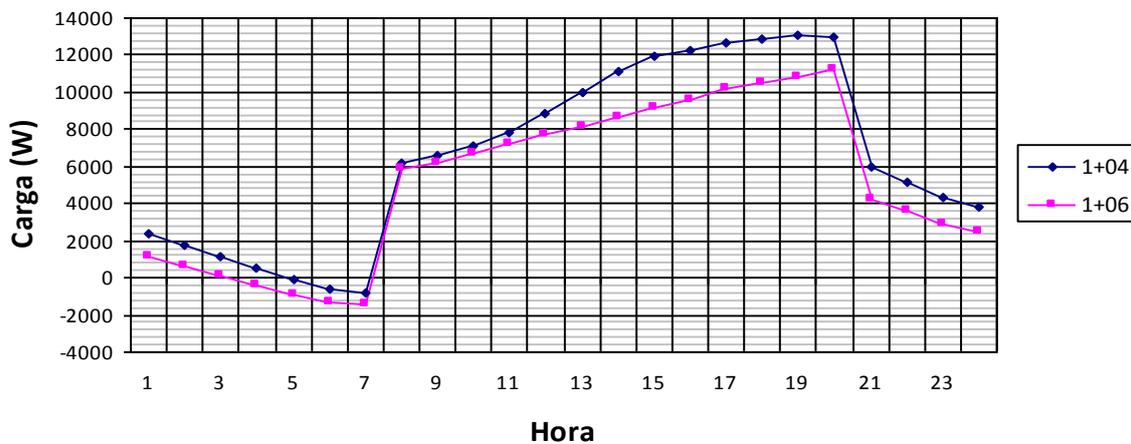


Figura 8.14 – Distribución horaria de cargas en dos habitaciones distintas de un mismo edificio

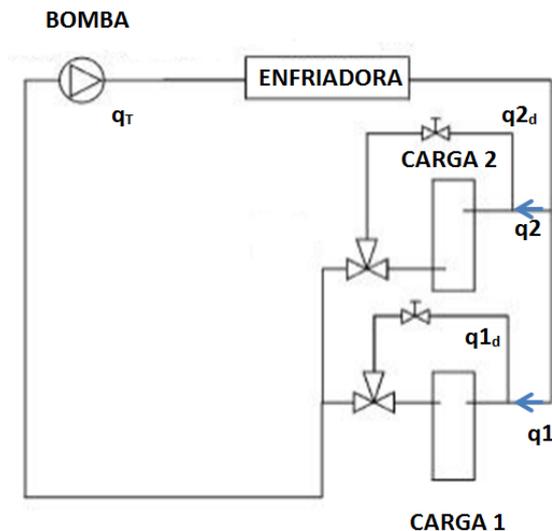


Figura 8.15 – Sistema a caudal constante

Como ya sabemos, los generadores térmicos son equipos de producción que funcionan siempre a caudal constante, con lo cual, una bomba que impulsa un caudal  $q_T$  no tiene posibilidad de ser modificado para acomodarse a la demanda térmica. Es decir, sea cual sea la demanda térmica, el caudal bombeado y el caudal enfriado por la planta enfriadora (también puede tratarse de una caldera), siempre será el mismo.

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

Esto tiene una consecuencia inmediata, si el caudal bombeado y enfriado es siempre el mismo, ¿Qué pasa cuando llega a la carga? La respuesta es bien sencilla, se desaprovecha (4).

Como podemos ver en la figura 8.16, al tener que variar el caudal para que se ajuste a la demanda térmica, se necesita tener un bypass por la unidad terminal. Esto implica que todo el caudal que no llega a atravesar la unidad terminal se desaprovecha, lo que conlleva unas pérdidas energéticas muy importantes.

En general, las instalaciones térmicas, se diseñan en función del porcentaje del número de horas de los meses que definen las estaciones de invierno y verano, durante las cuales las temperaturas indicadas son iguales o superiores. Es decir, que si por ejemplo se diseña una instalación con un nivel percentil del 1% en verano, significa que las condiciones de diseño elegidas serán superadas y no podrán contrarrestarse totalmente por nuestra instalación un 1% de las horas. Con lo que un día normal en verano, digamos a finales de junio, se estará utilizando la instalación pero a carga parcial, con lo que una buena parte del caudal (bombas y enfriadoras estarán trabajando a plena carga), se estará desaprovechando.

Esto obliga al proyectista a emplear diseños más eficientes, que puedan permitir el funcionamiento a carga parcial (o lo más cercano a ellas) tanto en los generadores térmicos como en las unidades terminales.

Para poder conseguir que las generadores trabajen a caudal variable (a partir de ahora se llamará falso caudal variable), se diseñan sistemas con un *bypass*. (5)

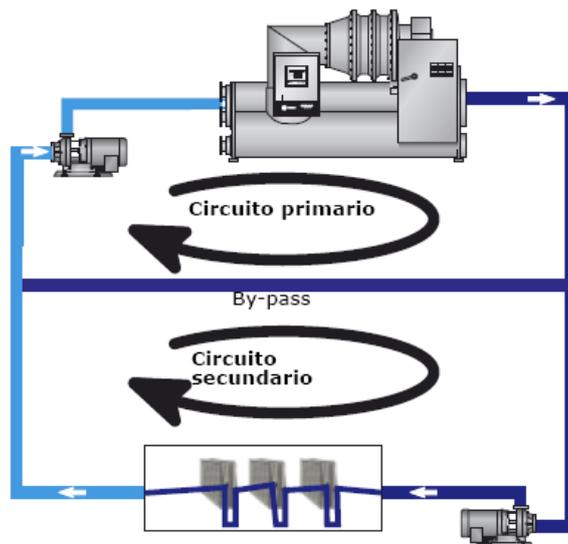


Figura 8.16 – Bypass en una instalación

Con el bypass conseguimos varias cosas. En primer lugar, podemos escoger bombas de menor tamaño, ya que la única pérdida de carga que tendrán que vencer las bombas serán las pérdidas del primario, luego el secundario, al tener únicamente que satisfacer la demanda de las unidades terminales, podrá funcionar a caudal variable. De esta forma, al incluir un bypass conseguimos desligar el primario del secundario.

El principal objetivo es crear una zona que apenas provoque pérdida de carga entre el primario y el secundario, garantizando en todo momento la circulación de caudal por esta zona. En un circuito desacoplado, cada circuito tiene sus propias bombas. Tal y como indica el nombre, cada circuito es un sistema independiente que no tienen prácticamente ninguna conexión de control con el otro circuito.

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

- El circuito primario es responsable de mantener la temperatura de diseño de las enfriadoras en un punto determinado. Las bombas del circuito primario son bombas de velocidad constante que trabajan para mantener el caudal a través de las enfriadoras.
- El circuito secundario se encarga de distribuir el agua fría a través del edificio. Las bombas del circuito secundario son de velocidad variable. Se encargan de incrementar el caudal en respuesta a la pérdida de presión a través de la carga del edificio y de reducir el caudal en respuesta a un incremento de presión a través de la carga y garantizar de este modo haya suficiente agua fría disponible para la carga.

El tubo de bypass mitiga la diferencia de caudal entre los circuitos primarios y secundarios, produciéndose dos posibles situaciones:

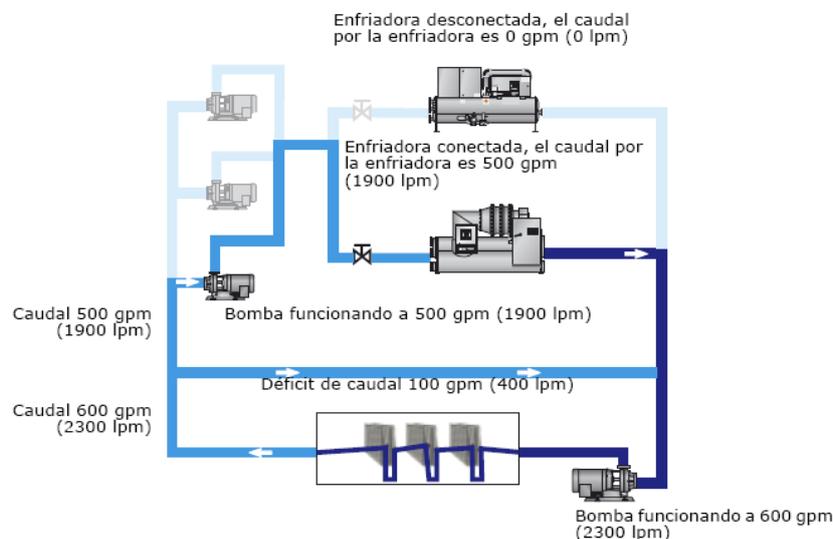


Figura 8.17 – Déficit de caudal en instalación con bypass

En el primer caso, a medida que se incrementa la exigencia de carga (requiere una mayor cantidad de caudal) y que la bomba del circuito secundario aumente su velocidad, la salida de la bomba secundaria empezará a superar el caudal del circuito primario. Esto hace que el agua templada retorne a través del bypass para compensar el déficit de caudal en el circuito primario. Este estado se suele denominar déficit de caudal.

En el segundo caso, a medida que se reduzca la exigencia de carga y que la bomba de circuito secundario reduzca su velocidad, la salida de la bomba secundaria empezará a no alcanzar el caudal del circuito primario. Esto hace que el exceso de flujo de agua enriada se derive a través del bypass. Este estado se suele denominar exceso de caudal.

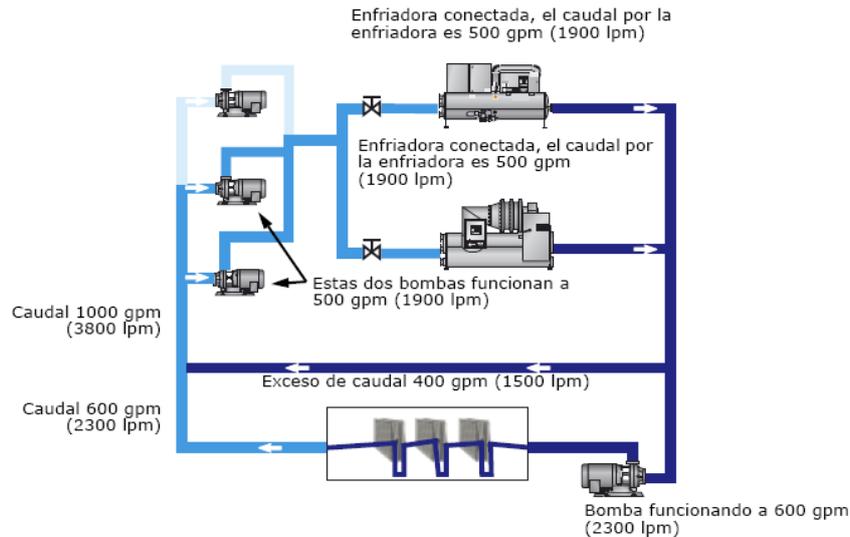
**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

Figura 8.18 – Déficit de caudal en instalación con bypass

Otra opción de diseño con bypass es utilizar un sistema de falso caudal variable en el primario. En lugar de utilizar una bomba de velocidad variable en el circuito secundario, se utilizan bombas de velocidad variable en el circuito primario. Las plantas de primario variable tienen un tubo de bypass que sólo se utiliza en situaciones de poco caudal. El tubo de bypass está dimensionado para el caudal mínimo de la enfriadora de mayor potencia de la planta. Además, el tubo de bypass debe tener instalada una válvula de corte que permanece cerrada cuando no hay condiciones de bajo caudal, que es durante el funcionamiento en condiciones nominales.

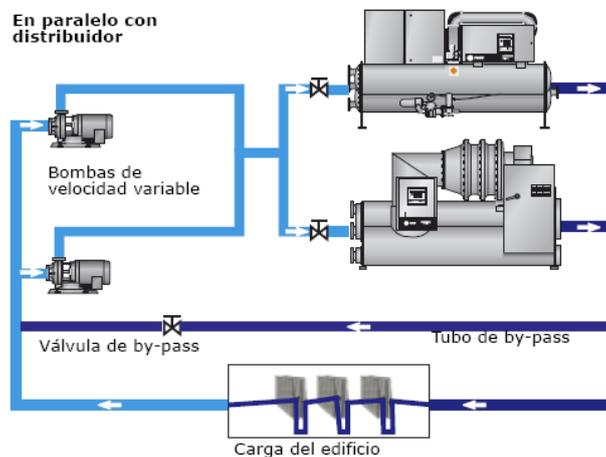


Figura 8.19 – Esquema primario-secundario con bypass y falso caudal variable en el primario

Notas sobre el primario variable:

- En condiciones estándar de funcionamiento, la válvula de bypass está cerrada.
- El flujo por el bypass sólo puede ir en un sentido (de suministro a retorno).
- Es necesario utilizar válvulas de dos vías en la batería de carga del edificio, con lo que la eficiencia suele ser mayor que con caudal constante o con caudal variable en el secundario.

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

*El bypass hidráulico permite independizar circuitos entre sí, permitiendo simplificar el diseño.*

### 8.4 – Colectores hidráulicos

Para el dimensionado del bypass hidráulico se utilizan *colectores* que se encargan de desacoplar hidráulicamente los circuitos primarios y secundarios de la red hidráulica. Los colectores en las redes hidráulicas cumplen por lo general con las siguientes funciones:

1. Desacoplamiento hidráulico
2. Decantación
3. Desgasificación



Figura 8.20 – Colector de una instalación

#### 8.4.1 – *Desacoplamiento hidráulico*

Creando una zona de muy bajas pérdidas de carga (la presión diferencial en las conexiones no debe de superar el 10% de la suma de las presiones diferenciales de los circuitos conectados) (6), el separador hidráulico o colector se encarga de independizar los circuitos “primario” y “secundario”. De este modo, los caudales de los circuitos dependen exclusivamente de los caudales de las bombas y no de las presiones de cada uno de los circuitos. Utilizando este dispositivo, en el circuito secundario habrá un caudal  $Q_s$  sólo cuando la(s) bomba(s) del circuito esté(n) en funcionamiento, permitiendo a la instalación satisfacer las exigencias específicas de carga del momento.

Cuando las bombas del secundario no están en funcionamiento, no hay circulación en el circuito, el caudal total  $Q_p$  emitido por la bomba del primario es desviado por el separador.

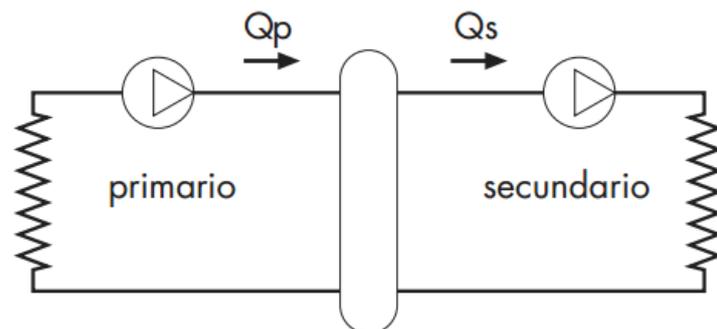


Figura 8.21 – Situación de un colector entre el primario y el secundario

Al intercalarse un colector entre los circuitos primarios y secundarios, pueden darse tres situaciones:

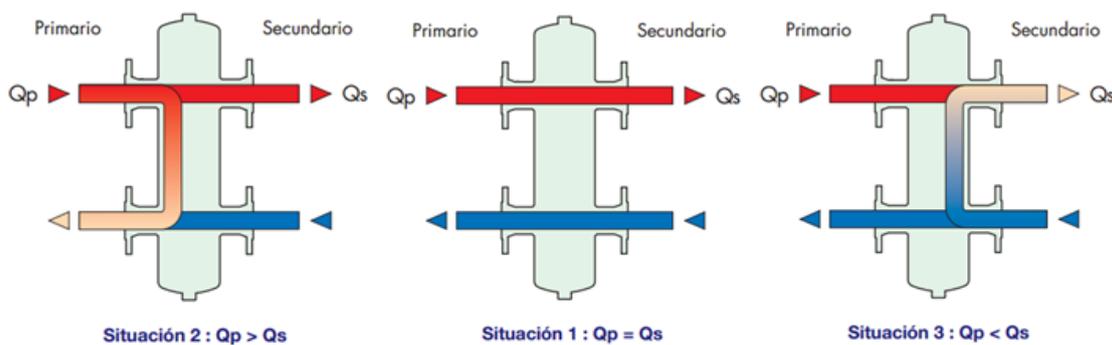


Figura 8.22 – Posibles modos de funcionamiento de un colector

Al igual que se separan los circuitos primarios y secundarios se utilizan colectores para acoplar bombas al circuito, tanto a la entrada (colectores de retorno) como a la salida (colectores de impulsión) de la bomba.

#### **8.4.2 – Depósito de decantación**

Como el diámetro de la botella es mayor que el de los conductos, la velocidad se reduce, permitiendo la separación y decantación de las impurezas en la parte inferior. Las impurezas se evacuan por una válvula de vaciado montada en la parte inferior que puede conectarse a un tubo de evacuación. Cuanto menor es la velocidad, mayor es la decantación.

#### **8.4.3 – Separador de aire y purga automática**

Del mismo modo, la reducción de la velocidad en la botella favorece la separación y la evacuación automática del aire en la parte superior. Cuanto menor es la velocidad, mayor es la separación de aire.

**8.4.4 – Dimensionado de un colector**

Para que el colector cumpla correctamente con sus funciones, se deben de cumplir las siguientes condiciones (2):

1. Para desacoplar los circuitos hidráulicamente, se debe de calcular un diámetro del colector de forma que la velocidad en el interior del mismo esté comprendida entre 0,5 m/s y 0,1 m/s. Otra manera más fácil e inmediata es estimar que el diámetro del colector es 3 veces el diámetro de la tubería del primario, que como vemos en la figura 8.23, es una aproximación bastante acertada.

DN	Diámetro interior tubos primario [mm]	Velocidad en primario para velocidad en colector de 0,1 m/s [m/s]	Caudal el primario para velocidad en colector de 0,1 m/s [m <sup>3</sup> /h]	Diámetro interior en colector [mm]	Relación D/d
1''	29,1	0,80	1,92	82,5	2,84
1'' ¼	37,2	0,83	3,24	107,1	2,88
1'' ½	43,1	0,93	4,90	131,7	3,06
DN 50	54,5	0,85	7,17	159,3	2,92
DN 65	70,3	0,87	12,14	207,3	2,95
DN 100	107,1	1,01	32,59	339,6	3,17
DN 150	159,3	0,93	66,75	486,0	3,05

Figura 8.23 – Relación entre diámetro del colector y tubería del primario

2. En la parte superior del colector (caso que nos encontremos con colectores verticales), para acumulación del aire, se admite una distancia mínima equivalente al diámetro de la conexión del primario, mientras que en la parte inferior, para permitir una buena sedimentación, se recomienda una altura mínima del doble del diámetro de la conexión. En el caso en que tengamos colector en horizontal, muy habitual también en cualquier tipo de instalación, la separación de aire y decantación se realizará mediante válvulas especializadas y las distancias de separación serán únicamente de 1 diámetro.
3. Se mantendrá una distancia de 3 veces el diámetro del primario entre las conexiones del primario y del secundario, para evitar turbulencias e interacciones entre ambos circuitos. En algunos casos, los colectores llevan paredes de separación interiores, lo que les permite poder disponer de los circuitos del primario y del secundario en aberturas directamente opuestas

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

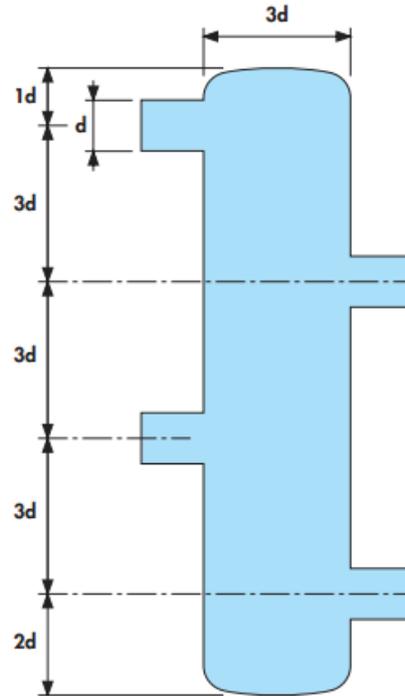


Figura 8.24 – Dimensionado de un colector según diámetro del primario

**8.5 – Circuito con bypass primario/secundario en planas enfriadoras/calderas**

Los sistemas de producción de agua suministran calor para numerosas aplicaciones, tanto de aire acondicionado como de refrigeración industrial. Independientemente de la complejidad del sistema, todos ellos están formados por generadores térmicos, bombas de circulación de agua... Como ya sabemos, el calor extraído en las baterías de intercambio de las unidades terminales es cedido a la masa de agua circulante y eliminado por las enfriadoras de agua. La red de tuberías de distribución será a caudal constante o variable en función de las bombas asociadas y de las válvulas de regulación de caudal en las unidades terminales. La transferencia de calor a estas unidades terminales está determinada por la siguiente ecuación:

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot \dot{m}_v \cdot \Delta T \quad 8-1$$

La relación entre el caudal y la diferencia de temperatura expresada en esta ecuación tiene una importancia crítica, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura mayor será la cantidad de agua que tenemos que hacer circular por el sistema. Las necesidades de caudal determinarán el tamaño de los componentes de los sistemas de agua, así como los consumos energéticos de las bombas.

*Para aumentar la cantidad de calor que le llegan a las unidades terminales tenemos dos opciones, o aumentamos el caudal o aumentamos la diferencia de temperatura (enfriamos más el agua)*

Las cargas a vencer por los sistemas de agua son casi siempre variables (4). Ante esta opción, el sistema deberá poder responder variando el caudal. Clasificación de los sistemas de distribución de agua variables:

- Sistemas de primario/secundario (PSF, primary secondary flow): aquellos que disponen de bombas de caudal constante en el circuito primario y bombas de caudal variable en el secundario.
- Sistemas de caudal variable en el primario (VPF, primary secondary flow): aquellos que únicamente poseen un circuito hidráulico común dotado de un grupo de bombeo de caudal variable.

**8.5.1 – Sistema primario/secundario (PSF)**

Los sistemas de Primario/Secundario (PSF), se basan en la existencia de dos grupos de bombeo, uno de ellos ubicado en el circuito primario de la instalación, que trabaja a caudal constante, y con la característica de que cada enfriadora va asociada a su bomba de circulación, de forma que todas estas bombas no pueden funcionar con otra enfriadora. El segundo grupo de bombeo se encarga de impulsar el agua a través de las unidades terminales, dotadas de válvulas de regulación de caudal de 2 vías, de forma que este grupo deberá ser de caudal variable. Las presiones estáticas disponibles de diseño de ambos grupos de bombeo, deberán permitir vencer la pérdida de carga en cada uno de los bucles del circuito de forma independiente.

Los sistemas de primario/secundario (PSF) se caracterizan también por poseer un bypass entre ambos circuitos, que permite circular caudal de agua en ambos sentidos en función del caudal que está recirculándose por cada bucle del circuito en un momento dado.

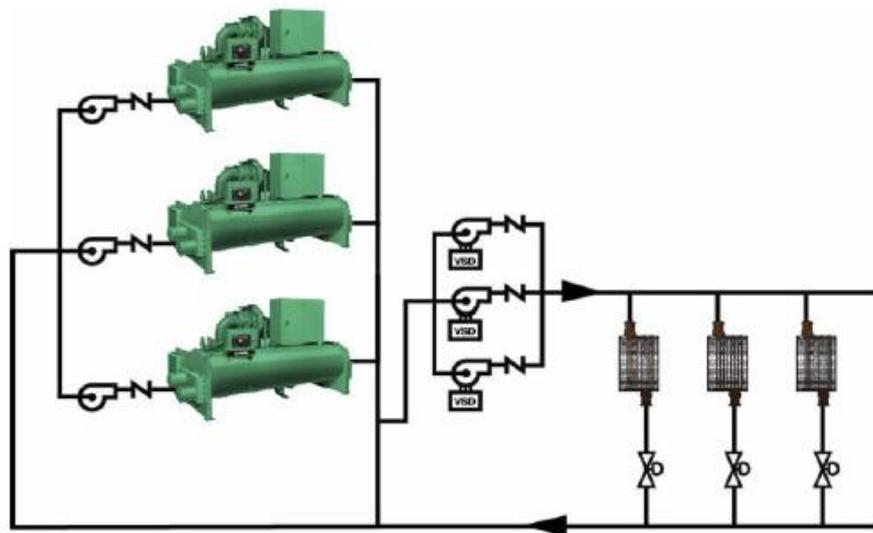


Figura 8.25 – Sistema primario/secundario (PSF)

*Funcionamiento:*

Para analizar el funcionamiento de un sistema primario/secundario vamos a partir de una instalación como la que se muestra en el esquema adjunto. Está formada por tres plantas enfriadoras de agua de 1.000 kW de potencia frigorífica cada una de ellas. Diseñando la instalación con unas condiciones de  $\Delta T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las bombas de circulación del circuito primario deberán de suministrar un caudal nominal de unos  $172\text{ m}^3/\text{h}$ , y su presión disponible deberá ser suficiente para vencer la pérdida de carga del evaporador del equipo y la del resto de elementos del circuito primario que le afectan. Mientras, las bombas del circuito secundario, dotadas de variador de velocidad, deberán ser capaces cada una de ellas de suministrar un caudal nominal de unos  $172\text{ m}^3/\text{h}$ , y su presión disponible deberá ser suficiente para vencer la pérdida de carga del circuito secundario (tubería, válvulas y batería de la unidad terminal más alejada). En condiciones de carga térmica del 100% los parámetros de funcionamiento serán los reflejados en la figura 8.28. Como los caudales que funcionan por el circuito primario y secundario son similares, por el bypass no circulará caudal de agua.

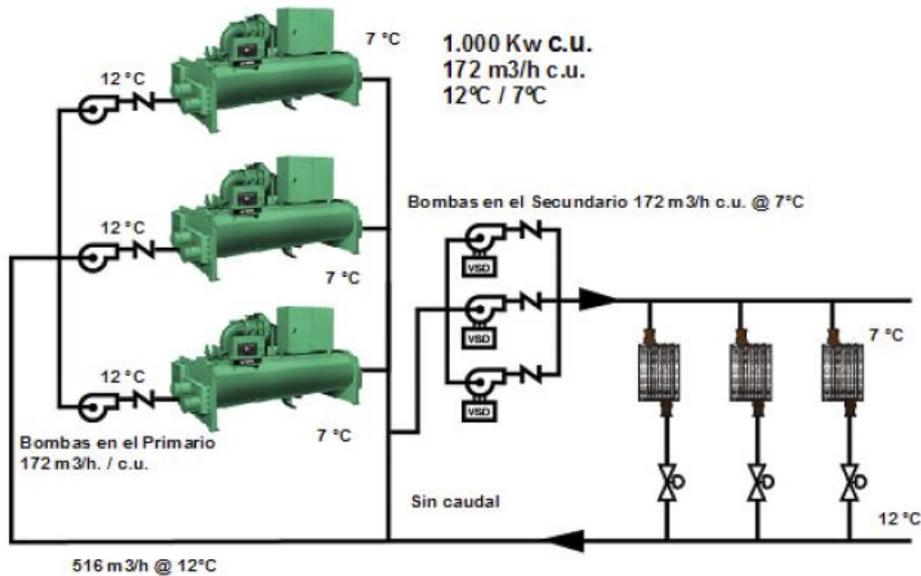
**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

Figura 8.26 – Sistema primario/secundario al 100%

Veamos ahora que sucede cuando la demanda de las unidades terminales se reduce al 75%. En estas condiciones, las bombas del circuito secundario reducirán su velocidad hasta dar un 75% del caudal nominal ( $129 \text{ m}^3/\text{h}$ ), manteniéndose así las condiciones de  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  en las baterías de las unidades terminales. El caudal total del secundario se verá reducido a  $387 \text{ m}^3/\text{h}$ , pero para poder satisfacer esa necesidad de caudal sin romper el equilibrio, en el circuito primario necesitaremos que las tres bombas permanezcan en funcionamiento, manteniendo operativas las tres plantas enfriadoras. En estas condiciones, por el bypass deberán circular  $129 \text{ m}^3/\text{h}$ , manteniéndose así el equilibrio hidráulico en la instalación. Ese caudal sobrante se mezcla con el de retorno de la instalación, haciendo que el agua que vuelve a las enfriadoras lo haga a una temperatura inferior a la prevista, obligándolas a trabajar con un  $\Delta T$  inferior al de diseño.

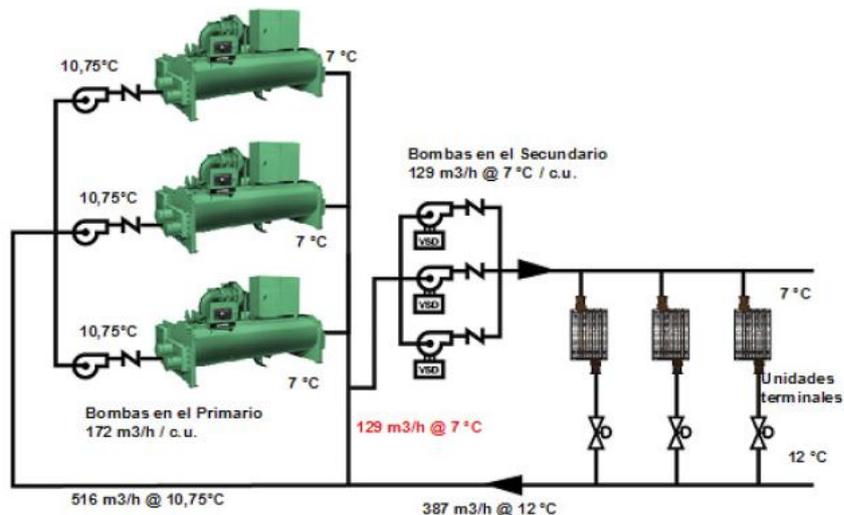


Figura 8.27 – Sistema primario/secundario al 75%

Con esto podemos deducir que en un sistema de Primario/Secundario, el sistema secundario es de caudal variable, con salto térmico constante, mientras que el circuito primario es de caudal constante con salto

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

térmico variable. Otra conclusión que extraemos rápidamente es que se realiza un derroche de energía: la empleada en el bombeo de los 129 m<sup>3</sup>/h del bypass. Las enfriadoras de agua empezarán todas ellas a reducir su capacidad para intentar trabajar con su  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ , pero no podremos evitar que las tres estén simultáneamente en funcionamiento por la demanda de caudal del circuito secundario.

Este mismo análisis lo podemos realizar con la instalación funcionando al 50%, tal y como se refleja en el esquema adjunto. En éstas nuevas condiciones, por el circuito secundario solo circulan 258 m<sup>3</sup>/h de agua manteniéndose un  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ . Para garantizar ese caudal, únicamente será necesario que funcionen dos de las bombas del primario, manteniendo así operativas dos enfriadoras. Al igual que en el caso anterior, para mantener el equilibrio hidráulico del sistema, por el bypass será necesario hacer circular un caudal de 86 m<sup>3</sup>/h, obligando esto a consumir energía extra al sistema. Ese caudal a  $7^\circ\text{C}$  se mezclará con el agua de retorno de la instalación, haciendo que el  $\Delta T$  con el que trabajan las enfriadoras sea inferior al de diseño.

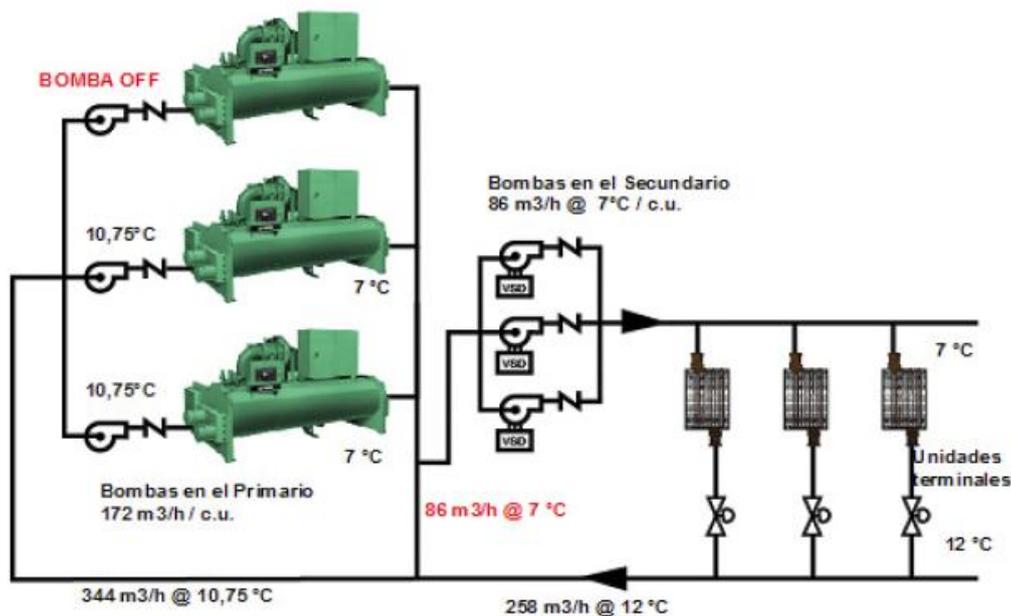


Figura 8.28 – Sistema primario/secundario al 50%

Esto es lo que sucede en instalaciones que funcionan manteniendo el  $\Delta T$  de diseño en las baterías de las unidades terminales. Pero existen causas que hacen que esto no sea así (por ejemplo, la suciedad en las baterías), dando lugar a lo que se llama “el síndrome del  $\Delta T$ ”, y que se da cuando ese salto es inferior al previsto, y cuya consecuencia inmediata es la necesidad de un aumento de caudal para satisfacer la demanda de frío. Las válvulas de 2 vías tienden a abrir rápidamente para satisfacer las necesidades del sensor de ambiente que demanda más potencia frigorífica. Podríamos decir que si con un  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  necesitaríamos un caudal “x”, para un  $\Delta T = 2,5^\circ\text{C}$  necesitaríamos un caudal de “2x”. El sensor de presión diferencial enviará entonces una señal al sistema de control, advirtiéndole de ese incremento de la demanda, y la reacción del sistema será dar orden a los variadores de velocidad de las bombas para que el caudal aumente. El sistema está buscando aumentar el caudal, cuando en realidad no necesita más potencia frigorífica.

En un sistema Primario/Secundario, la única posibilidad que hay de aumentar caudal, es dando orden de marcha a una bomba más del circuito primario con su enfriadora asociada, aunque en ese momento las

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

otras dos enfriadoras fuesen capaces por potencia de satisfacer la demanda. El resultado sería que las enfriadoras funcionarían a baja carga, lo que haría perder rendimiento energético al conjunto de la instalación si las unidades son de velocidad constante. En el caso de emplearse enfriadoras con variador de velocidad, cuyos rendimientos a cargas parciales son superiores, se podría admitir ésta situación. En cualquiera de estos dos casos, lo que no podríamos resolver es la pérdida de la energía empleada en bombear a través de toda la instalación el exceso de caudal consecuencia del “síndrome del  $\Delta T$ ”.

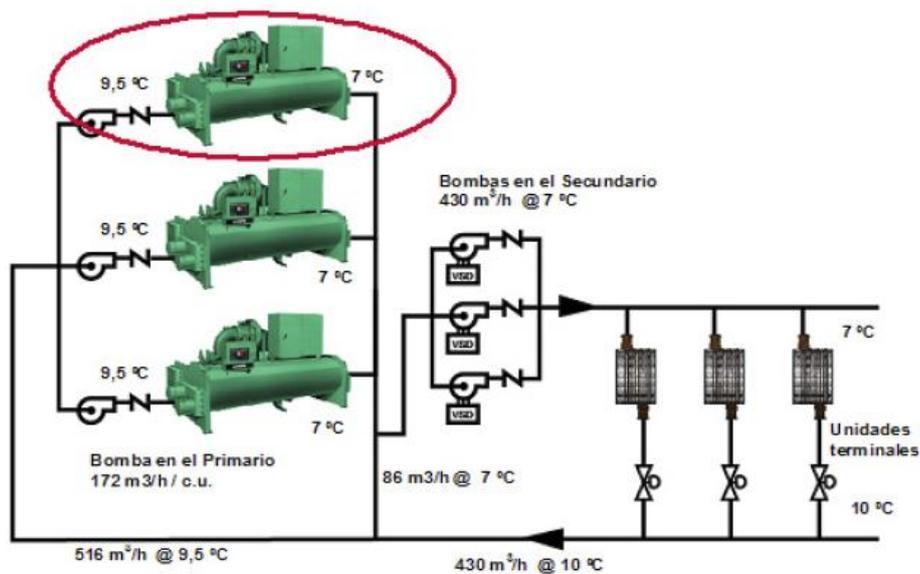


Figura 8.29 – Sistema primario/secundario al 50% con “síndrome del  $\Delta T$ ”

**8.5.2 – Sistema de caudal variable en el primario (VFP)**

Los sistemas de caudal de agua variable en circuito primario, se caracterizan por la existencia de un único grupo de bombeo de caudal variable, diseñado para vencer la pérdida de carga total del circuito (primario más secundario), y que recirculará el agua necesaria en cada momento para el funcionamiento del conjunto de la instalación a través de toda ella, incluso de las unidades enfriadoras. Estas bombas se instalan agrupadas, de forma que cualquiera de ellas puede trabajar sobre cualquiera de las enfriadoras del sistema. Cada unidad enfriadora estará dotada de una válvula de aislamiento automática, que cerrará en caso de que su enfriadora asociada esté parada.

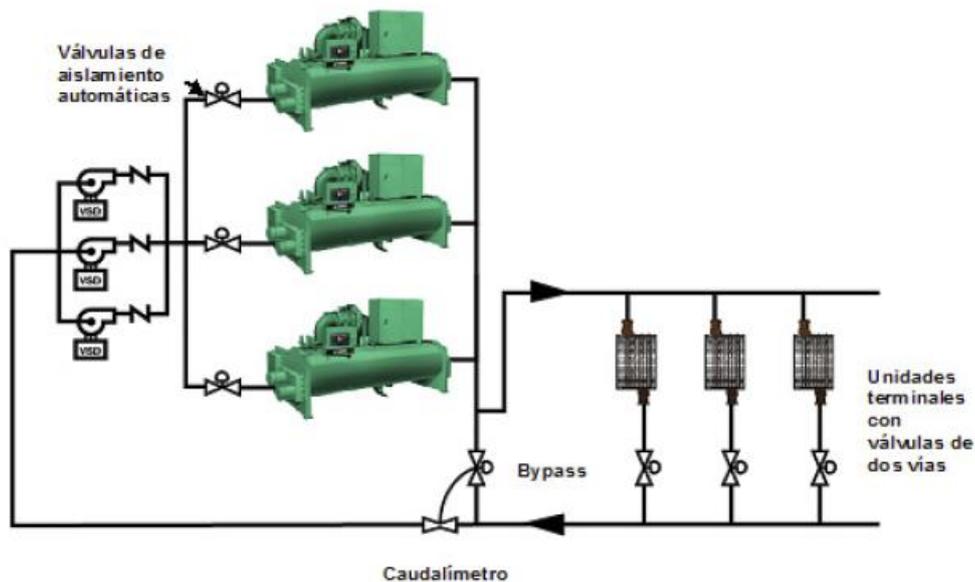


Figura 8.30 – Sistema de caudal variable en primario (VFP)

La demanda de caudal en el sistema, vendrá dada por la apertura o cierre de las válvulas de 2 vías de las unidades terminales, siendo éstas las que determinarán la cantidad de agua que circulará a través de las unidades enfriadoras. En la unidad terminal hidráulicamente más alejada de todo el circuito, se instalará un sensor de presión diferencial, que será el encargado de indicar en todo momento las variaciones de presión que van sucediendo en el circuito debido a la apertura y cierre de las válvulas reguladoras de caudal. Las bombas de circulación, dotadas de variador de frecuencia en el motor, responderán a esas variaciones de presión aumentando o disminuyendo el caudal que impulsan a la instalación.

En el sistema VFP también encontraremos un bypass con una válvula de regulación de caudal y un caudalímetro: su misión es garantizar en todo momento que por el evaporador de las enfriadoras está circulando el mínimo caudal exigible por el fabricante para evitar problemas de hielo en el mismo.

*Funcionamiento:*

Vamos a analizar ahora la misma instalación, pero resuelta ahora con un sistema VPF. Cuando las unidades terminales demandan plena carga, se mantiene el  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  a través de todo el sistema. El caudal que harán circular las bombas será el máximo requerido por la instalación, y la válvula de by-pass

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

permanecerá cerrada, impidiendo el paso de agua a través de él. Aparentemente a plena carga, la situación es similar a la descrita para el sistema Primario/Secundario.

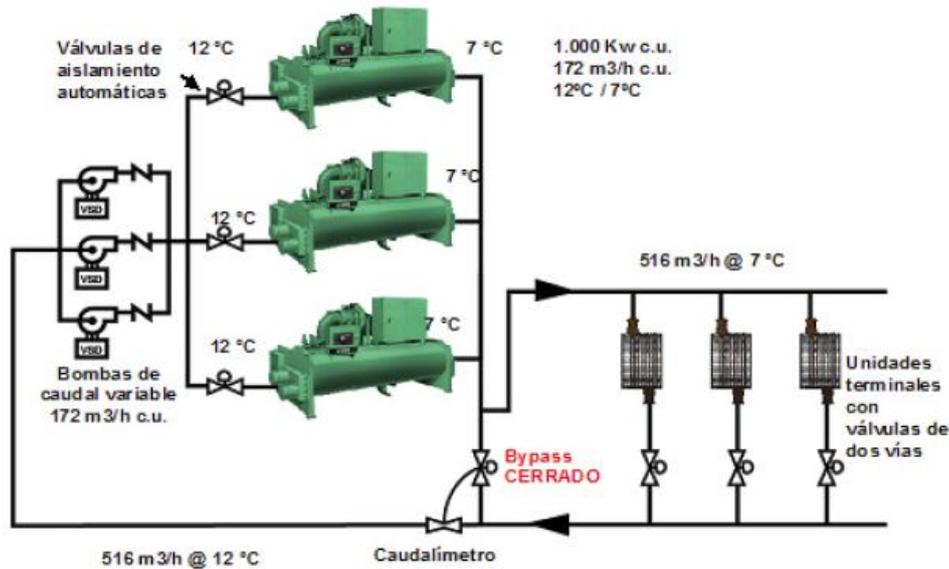


Figura 8.31 - Sistema VPF a plena carga

Pero veamos ahora que sucede cuando la demanda de las unidades terminales empieza a bajar y se sitúa en un 75% de la carga de diseño. Al igual que sucedía en el sistema Primario/Secundario, las necesidades de las unidades terminales siguen siendo de  $387 \text{ m}^3/\text{h}$ , pero ahora por las unidades enfriadoras también circula ese mismo caudal. Puesto que hay equilibrio hidráulico, el bypass permanecerá cerrado, a diferencia de lo que ocurría en el sistema PSF donde recordemos que en éste mismo supuesto circulaba un caudal de  $129 \text{ m}^3/\text{h}$ . Toda la instalación, tanto las enfriadoras como las unidades terminales seguirán operando con un  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ .

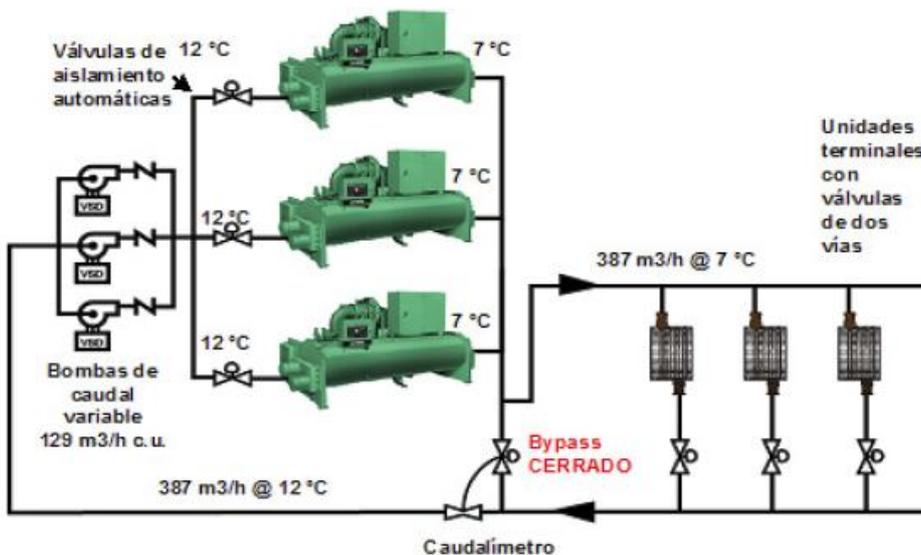


Figura 8.32 – Sistema VPF funcionando al 75% de la carga

Analicemos ahora lo que sucede cuando la demanda de las unidades terminales es del 50% de potencia de diseño. La situación ahora será ya bastante diferente a lo que sucedía con un sistema PSF, el caudal que

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

circula por las unidades terminales y por las enfriadoras es de  $258 \text{ m}^3/\text{h}$ . De igual forma, puesto que hay equilibrio hidráulico, no habrá circulación de caudal a través del bypass. Las enfriadoras ahora funcionan con un  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ . Paramos una de las dos máquinas, cerramos su válvula de aislamiento y paramos una de las tres bombas de circulación.

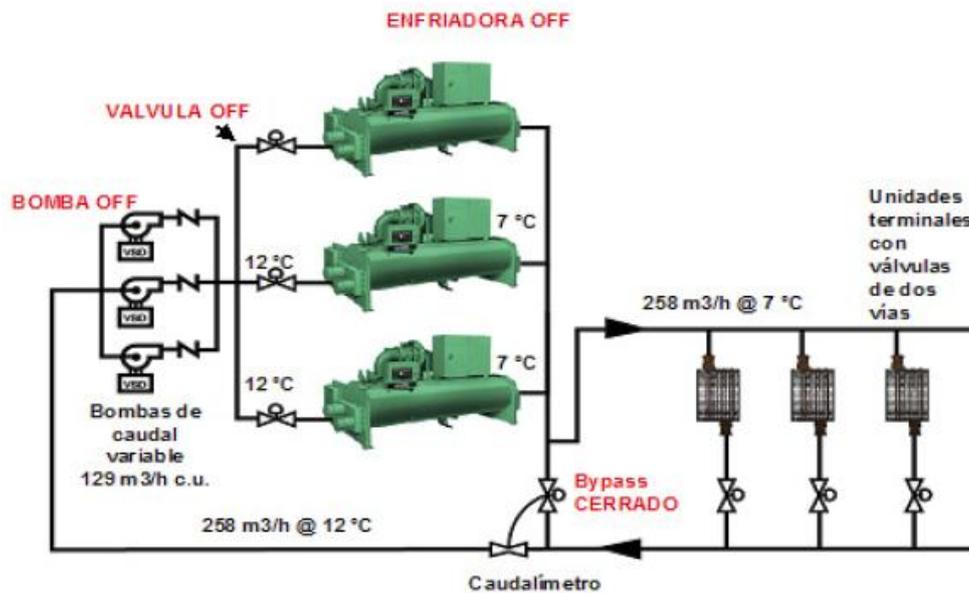


Figura 8.33 – Sistema VPF funcionando al 50% de la carga

Supongamos ahora que nuestro sistema VPF no alcanza completamente el  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  (síndrome del bajo  $\Delta T$ ), y que necesita un caudal de agua superior al de diseño para una necesidad frigorífica del 50% de la potencia de diseño. A diferencia de lo que sucedía en el PSF, en nuestro sistema VPF podremos mantener las tres bombas en funcionamiento sobre los evaporadores de solo dos de las máquinas, para que éstas cubran las necesidades frigoríficas, ya que sí son capaces de hacerlo.

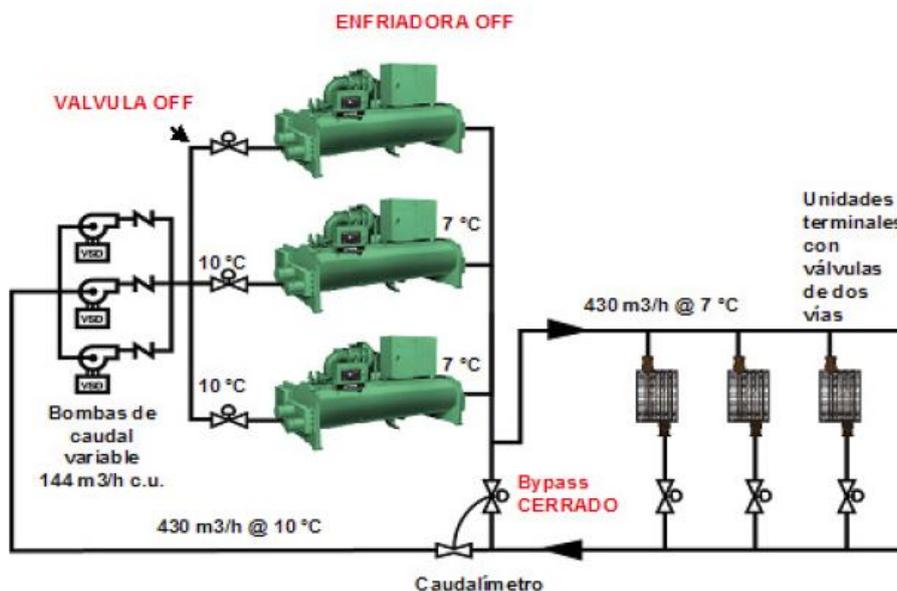


Figura 8.34 – Sistema VPF funcionando al 50% de la carga y con “síndrome del  $\Delta T$ ”

**8.5.3 – Diferencias entre sistemas primario/secundario (PSF) y de caudal variable en primario (VPF)**

Podemos resaltar como las diferencias más significativas entre los sistemas de Primario/Secundario y los Sistemas de Caudal Variable en Primario las siguientes:

- El Sistema de Caudal Variable en el Primario (VPF) es factible siempre que se dote a la instalación de un robusto sistema de control centralizado de todos los elementos, de manera que se conjuguen las necesidades mínimas de los equipos (tanto de enfriadoras como de unidades terminales) y se optimicen los rendimientos energéticos de todos los elementos de la instalación. Esto supone analizar de forma continua los puntos de funcionamiento de las enfriadoras, los saltos térmicos en las baterías de las unidades terminales, las aperturas de las válvulas y los caudales bombeados a través de todo el circuito. Para todo ello será necesario un potente sistema de control centralizado.

- El Sistema de Caudal Variable en el Primario (VPF) elimina un grupo de bombeo de la instalación, y todos los elementos accesorios que éste lleva consigo, reduciendo así el coste de inversión inicial y las pérdidas de carga en el conjunto del circuito hidráulico (esto se traduce además en un ahorro energético). Este grupo de bombeo será de más potencia que los que se seleccionan en el caso del PSF, puesto que la presión disponible deberá ser mayor en éste caso.

- Se separan las necesidades de caudal de agua de las necesidades de potencia frigorífica: la consecuencia más importante es el ahorro energético que se produce por hacer circular por la instalación el caudal de agua adecuado en cada momento, y por la mejora en el rendimiento de los equipos que supone el poder mantener el  $\Delta T$  de diseño. En el sistema NO EXISTE EXCESO DE CAUDAL en ningún punto. Otra consecuencia es que se ALARGA EL CICLO DE VIDA DE LAS ENFRIADORAS.

- Se reduce el tamaño de la línea de bypass: debe diseñarse para que por ella pueda pasar el caudal mínimo admitido en el evaporador de la enfriadora más grande.

- Requiere que se instalen caudalímetros o sensores de presión diferencial en los evaporadores de los equipos para garantizar el caudal de agua mínimo a través de ellos.

- Necesita que se instale un sensor de presión diferencial en el punto más alejado del circuito hidráulico, para garantizar que siempre habrá agua circulando por todo él.

En el año 2004 ARTI promovió el INFORME 21CR VPF, en el cual se analizan los ahorros potenciales de diferentes instalaciones de climatización en caso de ser realizadas con sistemas de primario/secundario y sistemas VPF, en ambos casos con enfriadoras de velocidad constante. El estudio, realizado con un simulador, concluía estableciendo unos ahorros potenciales que a continuación citaremos:

1. **MENOR COSTE DE INVERSION:** Los sistemas VPF implican un menor coste de inversión inicial, que según el INFORME 21CR VPF se pueden cuantificar entre un 4% y un 8%, resultante de la valoración de los siguiente puntos:

- Se elimina completamente uno de los dos grupo de bombas que aparecía en los sistemas PSF: esto implica la eliminación de todas las válvulas auxiliares, filtros, reducciones,

**TEMA 8: DISEÑO DE REDES HIDRÁULICAS**

soportes, aislamientos térmicos especiales, cableado eléctrico, protecciones eléctricas de motores, elementos de control, cableado de control, etc. y sobre todo, menor número de horas de mano de obra de montaje.

- El grupo de bombeo a valorar será de mayor potencia eléctrica, puesto que deberá tener la presión disponible suficiente para vencer la pérdida de carga total del circuito hidráulico al completo.
- La línea de by-pass será de menor diámetro que la del sistema PSF, puesto que solo tiene que circular el caudal mínimo de la enfriadora más grande.
- Necesidad de añadir caudalímetros para garantizar los mínimos requeridos por las unidades enfriadoras.
- Necesidad de un Sistema de Gestión y Control Centralizado más robusto.
- Necesidad de un mayor tiempo de puesta en marcha de la instalación.

2. **MENOR ESPACIO OCUPADO:** Los sistemas VPF requieren menos superficie de ocupación de sala de máquinas, debido fundamentalmente a la existencia de un único grupo de bombeo para toda la instalación. Como consecuencia, los accesos a los equipos serán mejores por esa mayor disponibilidad de espacio.
3. **MENOR COSTE ENERGETICO DE EXPLOTACION:** Según el estudio realizado por ARTI en su informe CR21 VPF, se establece como media de los ahorros energéticos generados por el empleo de un sistema VPF entre un 3% y un 8% de los consumos anuales de la instalación. Estos ahorros provienen del menor consumo energético de los grupos de bombeo gracias a la capacidad de éste sistema de adaptarse realmente a la demanda generada por las unidades terminales y de los ahorros energéticos derivados del funcionamiento a cargas parciales de los equipos (siempre que se hayan seleccionado equipos de ésta característica).
4. **MAYOR FIABILIDAD:** El informe CR21 VPF de ARTI, señalaba un aumento de la vida útil de los equipos empleados en los sistemas VPF superior entre un 3% y un 5% a los empleados en un sistema Primario/Secundario, motivado fundamentalmente por:
  - Menor cantidad de componentes mecánicos en el sistema.
  - Menor número de horas de trabajo de las unidades enfriadoras, así como mejor funcionamiento de las mismas por hacerlo siempre en su rango de diseño de temperaturas.
  - Cualquiera de las bombas puede servir para impulsar sobre cualquiera de las enfriadoras: nos dará más fiabilidad ante el fallo de una unidad. Esta filosofía nos permitirá el emplear una única bomba de “reserva” de toda la instalación, y no como tradicionalmente se ha venido haciendo, colocando una bomba de reserva por cada bomba de funcionamiento.

## **Bibliografía**

1. **Jr., Arthur A. Bell.** *HVAC Equations Data and Rules of Thumb*. s.l. : McGraw Hill, 2006.
2. **Caleffi.** *Separadores hidráulicos o botellas de desacoplamiento hidráulico*. Madrid : Caleffi, 2010.
3. **Tour Andersson.** *Balancing of control loops*. s.l. : Tour Andersson , 1999.
4. **Sáez, M<sup>a</sup> Mercedes Llorente y Vico, Juan Manuel.** *Sistemas de caudal de agua variable en circuito primario*. s.l. : Johnson Controls, 2007.
5. **Stormtech.** *Manifold Sizing Guidance for Stormtech Chamber Systems*. Wethersfield : Stormtech, 2008.
6. **Bahnfleth, William P. y Peyer, Eric.** *Variable primary flow chilled water systems: Potential Benefits and applications issues*. Pennsylvania : The Pennsylvania State University, 2004.
7. **Crane.** *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. s.l. : McGraw Hill, 1988.
8. **Bathia, A.** *HVAC Chilled Water Distribution Schemes*. Nueva York : CED Engineering.