

**"GUIA TECNICA DEL SECUNDARIO"**

**RECOMANDACIONES PARA EL DISEÑO, LA REALIZACION Y LA  
EXPLOTACION DE INSTALACIONES DE CALEFACCION Y AIRE  
ACONDICIONADO CONECTADAS A LA RED URBANA DE CALOR Y DE  
FRIO.**

## **1. Introducción.**

La presente guía pretende exponer una serie de recomendaciones para el diseño de las instalaciones de calefacción y climatización de edificios conectados a una red urbana de calor y/o de frío.

Dichas recomendaciones tienden a conseguir en las citadas instalaciones el nivel de confort esperado con soluciones técnicas compatibles con el funcionamiento de la red urbana (o primaria) y optimizadas en cuanto a sus costes de explotación.

La optimización de los costes de explotación consiste principalmente en reducir los costes de transporte de la energía, es decir los costes de bombeo, lo que significa maximizar los saltos térmicos.

En una red de calor o de frío, las instalaciones interiores de los edificios conectados forman, con la red primaria gestionada por el concesionario, un conjunto técnico en el que el funcionamiento de cada elemento puede influir en el funcionamiento del conjunto del sistema.

Dicha consideración vale también para otros tipos de red, las eléctricas, por ejemplo. En nuestro caso, no se trata de tener en cuenta tensiones de funcionamiento o consumos de energía reactiva, sino cumplir con criterios de temperaturas y caudales.

La red primaria esta prevista para poder dar servicio al conjunto de los clientes conectados, cada uno por su potencia contratada y con el régimen de temperaturas definido. En base a dichos criterios se define el caudal de cada ramal y su diámetro.

Un cliente que no cumpliera con el salto térmico de diseño hará circular mas caudal, con la posible consecuencia de no poder alcanzar la potencia que necesita y hasta impedir que otros clientes reciban el caudal que necesitan.

Por otro lado, cumplir con el salto térmico definido y, además, mantenerlo a lo largo del año, significa que la instalación funciona siempre con el caudal mínimo necesario, lo que puede generar ahorros significativos en el consumo eléctrico de las bombas de impulsión.

Es la filosofía de funcionamiento que hemos adoptado en la red primaria, es decir temperaturas constantes y caudal variable.

Recomendamos que en las instalaciones interiores de los edificios se siga la misma filosofía, lo que permite optimizar el consumo eléctrico de las bombas del edificio y reducir la factura energética, vía la reducción del término variable de volumen.

Es evidente que las incidencias económicas son más importantes en la distribución de frío por los caudales de agua importantes que necesita. Sin embargo todas las recomendaciones y especificaciones que exponemos a continuación son validas también para la distribución de calor.

El presente documento incluye informaciones y especificaciones técnicas para realizar instalaciones con salto térmico optimizado y con caudal variable.

El primer punto se refiere a la definición y a la selección de los equipos terminales.

El segundo al diseño de los circuitos y de sus equipos de regulación.

Incluye también indicaciones importantes relativas al equilibrado de los circuitos y al tratamiento del agua.

El presente documento no pretende sustituir la literatura técnica que ya existe sobre lo que se desarrolla aquí. Pretende solo recordar reglas básicas de diseño. Para más información, referirse a la literatura existente o a manuales de proveedores.

## 2. Como diseñar una instalación de caudal variable.

La forma habitual de realizar las instalaciones no es de caudal variable. Al contrario, las calderas y las maquinas enfriadoras de agua necesitan un caudal constante o un caudal mínimo relativamente importante, ello poco compatible con un verdadero sistema de caudal variable. En cambio, en una instalación conectada a la red de calor y frío, el intercambiador acepta sin problema las variaciones de caudal.

El diseño "habitual" de las instalaciones es el resumido en la figura 1. Se compone de equipos terminales (fan-coils, climatizadores, etc.), cuyo caudal esta regulado por válvulas de 3 vías. El caudal que circula por este equipo terminal es variable, en función de la potencia demandada. Al otro lado de la válvula el caudal es constante. El caudal no demandado por el citado equipo pasa por la vía de by-pass de la válvula, mezclando así agua de impulsión con agua de retorno. Esta situación se presenta de forma evidente a carga parcial, pero también en la mayoría de los caso a plena carga, por el sobre-dimensionamiento de la bomba y la frecuente ausencia de válvula de equilibrado del caudal.

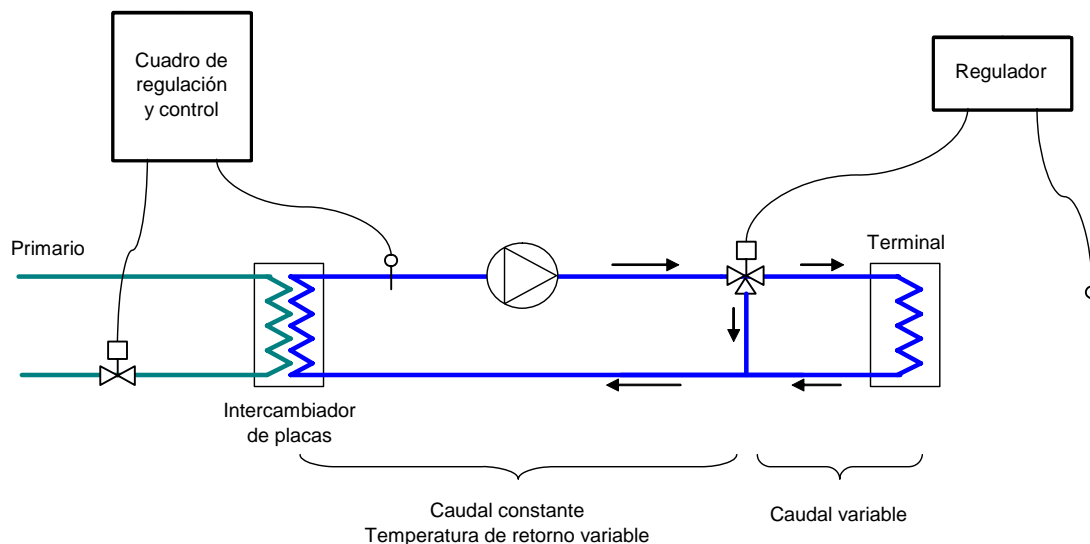


Fig. 1 - Sistema de caudal constante

Este diseño implica un consumo importante de electricidad por la bomba, independiente de las necesidades térmicas de la instalación.

El diseño que recomendamos es el de la figura 2. Se sustituye solo las válvulas de 3 vías por válvulas de 2 vías. El caudal que circula por el equipo terminal es el mismo que en el caso anterior, es variable en todo el circuito. Así, en cada momento el caudal movido por la bomba es justo el caudal demandado por los equipos terminales. El punto de funcionamiento de la bomba se desplaza en su curva en función del grado de apertura de las válvulas de regulación. En este caso, a carga parcial, el consumo eléctrico de la bomba es menor.

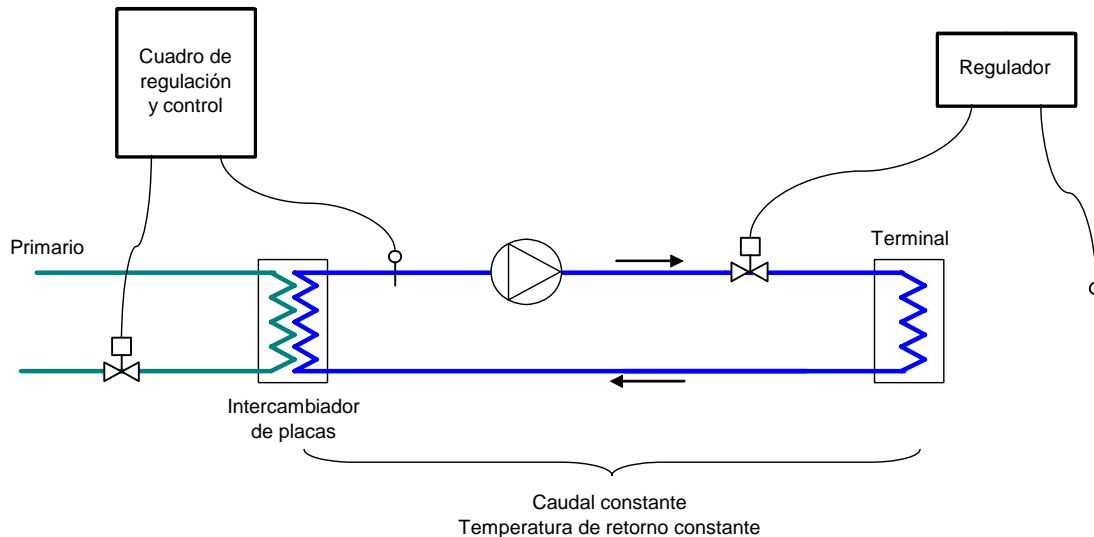


Fig. 2 - Sistema de caudal variable

Se puede reducir aun el consumo eléctrico de la bomba mediante un variador de velocidad. Con la reducción de la velocidad de la bomba se cambia la curva de funcionamiento de la misma (ver figura 3). Resulta una altura manométrica menor de la bomba. Para conseguir el caudal necesario, se abren las válvulas de regulación y se encuentra un nuevo punto de funcionamiento cumpliendo perfectamente con las necesidades de caudal de la instalación y un consumo eléctrico de bombeo mucho menor.

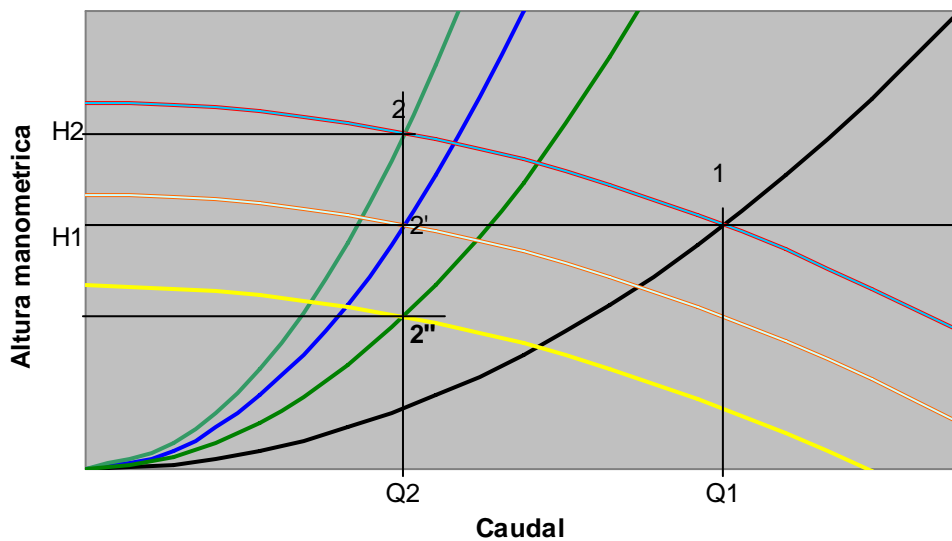


Fig. 3

**1** es el punto de funcionamiento a plena carga (caudal  $Q_1$  y altura manométrica  $H_1$ )  
 Cuando disminuya la demanda, el caudal requerido pasa a ser  $Q_2$ ; se cierran las válvulas de regulación y el punto de funcionamiento pasa a ser el **2** (caudal  $Q_2$  y altura manométrica  $H_2$ )  
 Con un variador de velocidad y un sistema de regulación de  $\Delta P$  en la bomba se reduce la velocidad de la bomba hasta volver a la altura manométrica de consigna  $H_1$ ; se consigue un nuevo punto de funcionamiento **2'** (caudal  $Q_2$  y altura manométrica  $H_1$ )  
 Si el control de  $\Delta P$  esta ubicado cerca del terminal más desfavorizado, el punto de funcionamiento pasa a ser el **2''**, con aún menos velocidad y menos consumo eléctrico.

Se puede regular la velocidad de la bomba en función de varios criterios (temperatura, salto de temperaturas, presión, presión diferencial...). Recomendamos una regulación en base a una consigna de presión diferencial, si posible en el extremo del circuito.

La ubicación de la sonda de presión diferencial esta relacionada con el objetivo del sistema de regulación que es mantener una presión diferencial mínima en cada punto del circuito, de tal forma que los equipos terminales puedan recibir el caudal necesario en cualquier momento. Por consiguiente, se debe instalar dicha sonda en el punto más desfavorizado del circuito en cuanto a la presión diferencial, este punto es, generalmente, a la entrada del último terminal. Aunque menos eficiente, una solución muy corriente es colocar la sonda entre impulsión y aspiración de la bomba. Es aceptable solo en caso de circuito corto en el que la perdida de carga en las tuberías es poco importante.

Además, se necesita instalar en el extremo del circuito una válvula presostatica (ver figura 4) ajustada para mantener un caudal mínimo en el circuito, sobre todo en caso de que todas las válvulas de regulación estén cerradas.

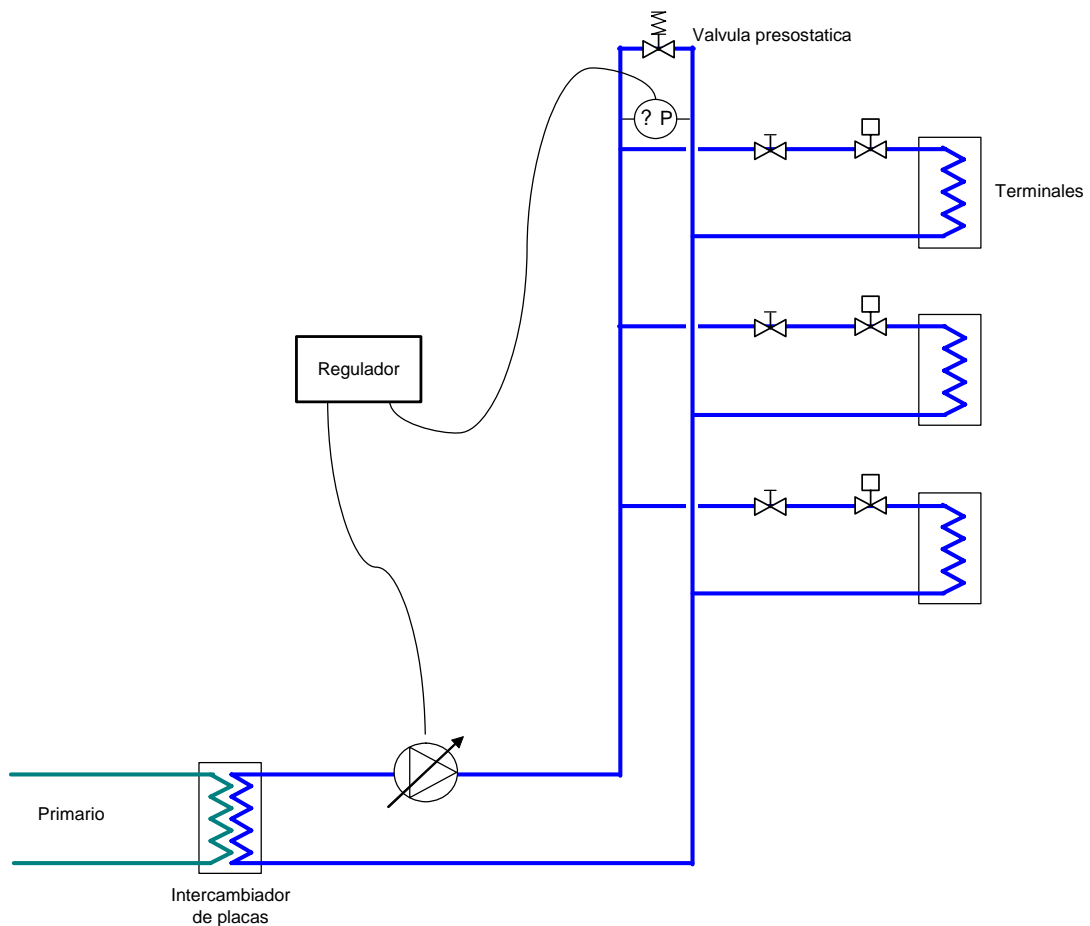


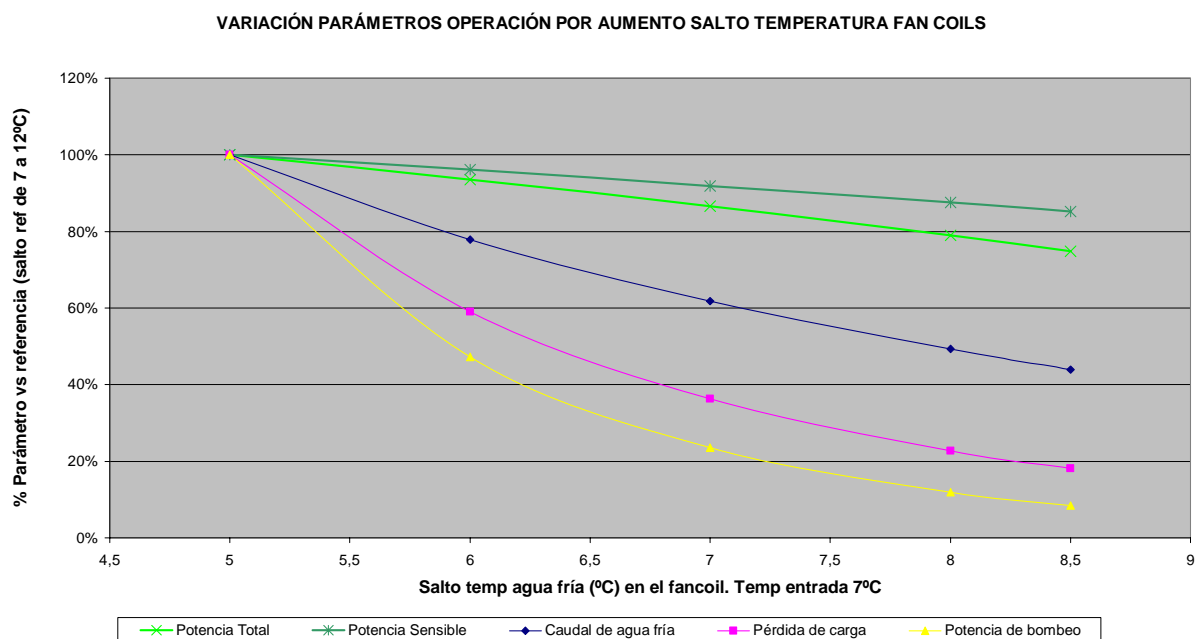
Fig. 4

El valor de la consigna de presión diferencial debe ser igual al valor de la pérdida de carga de la parte del circuito situada aguas abajo de la sonda de presión, ello a carga nominal. Se puede cambiar la consigna según la época del año, por ejemplo, se puede reducir en un circuito de agua fría en invierno. En este caso se consigue aun mas ahorro energético.

### 3. Selección de los equipos terminales.

Las principales consecuencias de operar fan-coils y climatizadores con  $\Delta T$  por encima del habitual de  $5^{\circ}\text{C}$  ( $7\text{-}12^{\circ}\text{C}$ ) se muestran en el siguiente gráfico (fig. 5)

Como consecuencia de este nuevo salto térmico, para mantener la misma potencia del equipo, se debe aumentar la superficie de intercambio.



**Fig. 5**

En resumen, la operación de un fan-coil o climatizador con un  $\Delta T = 8,5^{\circ}\text{C}$  vs  $\Delta T = 5,0^{\circ}\text{C}$  representa:

- Descenso de un 25% de la potencia total.
- Descenso de un 15% de la potencia sensible.
- Descenso del 55% del caudal de agua.
- Descenso de 80% de la pérdida de carga.
- Descenso del 90% de la potencia de bombeo necesaria (\*).

(\*) Tomando en consideración únicamente la potencia de bombeo requerida en el equipo.

Aunque todas estas consecuencias son suficientemente significativas y deben ser tenidas en cuenta por el Projectista del sistema, se destaca por su importancia:

**El projectista deberá aumentar en un 17% la potencia sensible nominal de los equipos seleccionados (\*) respecto a la potencia sensible nominal necesaria en la instalación.**

(\*) Normalmente seleccionada a condiciones Sd.  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$

Para aquellas instalaciones en funcionamiento o diseñadas con un  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ , el projectista deberá minorar en un 15% la potencia sensible nominal (\*) del fan-coil o climatizador para determinar la potencia sensible realmente instalada.

(\*) Normalmente indicada a condiciones Sd.  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$

#### 4. Selección de las válvulas de regulación.

La selección de las válvulas de regulación motorizadas debe cumplir con varios criterios, que son principalmente los siguientes.

- Característica: es la curva de la pérdida de carga de la válvula en función de su apertura; existen varias formas de curvas entre las cuales las más corrientes son las lineales y las isoporcentuales. Los aparatos que controlan las válvulas de regulación no tienen un comportamiento lineal (caudal en función de la potencia) con lo cual una válvula lineal no es adecuada. La solución correcta es, en la mayoría de los casos, seleccionar una característica isoporcentual.

- presión admisible: es el PN de la válvula, debe ser superior a la suma de la presión estática (presión del sistema de presurización menos altura) y de la presión dinámica.

- presión diferencial: el actuador de la válvula debe ser capaz de abrir y cerrarla con la presión diferencial máxima del circuito, esta presión diferencial depende de la bomba y de la ubicación de la válvula en el circuito.

- Coefficiente de flujo o Kv: en los catálogos de los proveedores, el diámetro se deduce del Kv. En ningún caso, el diámetro es un criterio de dimensionamiento de una válvula de regulación.

El coeficiente de flujo Kv es una característica de la válvula y define la relación entre caudal y pérdida de carga de la misma, abierta a 100%.

El Kv, en el sistema métrico internacional, es definido como el caudal Q (m<sup>3</sup>/h) de un fluido de densidad 1 que pasa a través de una válvula que tenga el obturador totalmente abierto con un diferencial de presión  $\Delta P$  de 1 bar ó 100 kPa. La expresión con densidad del agua igual a 1 kg/litro queda como sigue:

$$Q = K_v \times \Delta P$$

La autoridad de una válvula  $\alpha$  esta definida por la relación entre la caída de presión a través de ella cuando esta totalmente abierta (o sea  $\Delta P_{min}$ ) y la caída de presión de todo el circuito afectado por la válvula, válvula incluida, o lo que es lo mismo, la  $\Delta P$  a través de la válvula cuando esta cerrada o a caudal cero ( $\Delta P_{máx}$ ). Esta DP máxima es igual a la pérdida de presión a través de la válvula totalmente abierta más la pérdida de presión a través de los otros elementos del circuito en las mismas condiciones de válvula totalmente abierta.

$$\alpha = \Delta P_{min} / \Delta P_{max}$$

Un valor pequeño de  $\alpha$  significa una pequeña caída de presión a través de la válvula en relación con la caída de presión a través de todo el circuito. Cuando  $\alpha$  es pequeño, el caudal esta predominantemente determinado por caída de presión a través de los otros componentes del circuito y las maniobras de apertura y o cierre de la válvula tienen poca influencia sobre la variación del caudal. Más aún, en la primera mitad del recorrido del actuador la válvula tiene un efecto casi nulo sobre el caudal y la válvula deberá trabajar sobre un recorrido de obturador muy pequeño lo que dificulta la acción del lazo de control de temperatura, generando inestabilidades de la regulación, precisión insatisfactoria y desgaste rápido de la válvula y de su actuador por los movimientos continuos de cierre y de apertura.

Por otro lado, el valor máximo de la autoridad se debe limitar para evitar velocidades excesivas del agua a su paso a través de la válvula y, por tanto, desgaste por erosión y ruidos.

Para asegurar un correcto funcionamiento de la válvula se recomienda seleccionar el Kv de tal forma que su autoridad sea entre 0,3 y 0,5.

### Ejemplo de cálculo:

Una batería de agua fría necesita, a potencia nominal, un caudal de 5m<sup>3</sup>/h, por una pérdida de carga de 4 m ca, o sea 0,4 bar. El circuito incluye también válvulas y tuberías por una pérdida de carga total de 0,9 m ca. x es la pérdida de carga de la válvula de regulación.

La pérdida de carga total del circuito controlado por esta válvula es (en bar):

$$x + 0,4 + 0,9 = x + 1,3$$

La autoridad de la válvula es:  $\alpha = x / x + 1,3$

Se deduce:  $x = 1,3 * \alpha / (1 - \alpha)$

Con  $\alpha = 0,3$  (autoridad mínima),  $x = 0,56$  bar y  $Kv = 5 / 0,56 = 8,9$

Con  $\alpha = 0,5$  (autoridad "máxima"),  $x = 1,3$  bar y  $Kv = 5 / 1,3 = 3,8$

En el catálogo del proveedor se seleccionará una válvula cuyo Kv este comprendido entre 3,8 y 8,9.

Ello conduce generalmente a seleccionar válvulas de diámetro inferior al diámetro de los tubos.

## **5. Equilibrado de los circuitos y regulación.**

En ningún caso la ejecución de la instalación puede cumplir exactamente con lo previsto en los proyectos, porque, entre otros motivos, al utilizar equipos del mercado, resulta siempre un sobre-dimensionamiento de los mismos.

Por consiguiente, es necesario, incluso en las instalaciones de válvulas de dos vías, realizar ajustes de pérdidas de carga para que a cada punto de la instalación, ya sea de frío o de calor, le llegue el caudal requerido. Cuando esto sucede, la instalación está equilibrada hidráulicamente.

Estos ajustes se realizan mediante válvulas de equilibrado en cada terminal, ramal y columna.

Cuando una instalación no está equilibrada, el fluido caloportador, en nuestro caso agua, tiende a discurrir por los tramos de menor pérdida de carga, con lo que en algunas unidades terminales se producirá una sobrealimentación mientras que otras padecerán un déficit de caudal. En consecuencia, las temperaturas de las distintas áreas y locales no serán las deseadas y tendrán importantes oscilaciones.

El correcto equilibrado permite también realizar el arranque de la instalación (después de la parada nocturna) de forma más rápida y más homogénea. Si no hay equilibrado o si esta mal hecho, los circuitos desfavorecidos no reciben el caudal adecuado hasta que los otros circuitos alcancen sus temperaturas de consigna, lo que tarda mas y consume mas caudal de agua.

La elevación de las curvas de las bombas, la instalación de bombas mayores, el cambio de las temperaturas de salida de las unidades productoras o la modificación de los parámetros de las regulaciones, no consiguen solucionar los problemas que se originan por la falta de equilibrado hidráulico y en algunos casos estas soluciones agudizan los problemas, y en todos los casos provocan incrementos de los costes de explotación.

El correcto equilibrado de la instalación es imprescindible en cualquier caso, que la instalación sea o no de caudal variable, o este conectada o no a una red urbana de calefacción o de climatización.



Para equilibrar hidráulicamente una instalación, existen distintas técnicas, que son las siguientes:

- equilibrado estático o manual
- equilibrado dinámico o automático
- soluciones mixtas estáticas/dinámicas
- 

#### Equilibrado estático o manual.

Consiste en instalar válvulas de equilibrado estático en cada terminal, y también, a veces en las columnas y los equipos de generación (en nuestro caso los intercambiadores). Una vez instaladas, es necesario que un especialista realice el ajuste del Kvs en cada una de las válvulas para que la instalación quede equilibrada hidráulicamente. Este método de equilibrar las instalaciones requiere un esfuerzo y una inversión de tiempo considerable, ya que además de hacer un ajuste previo en cada una de las válvulas, posteriormente se requiere un proceso iterativo de reajuste que incluso se puede repetir varias veces.

La mayoría de los proveedores de válvulas de equilibrado proponen métodos y herramientas para realizar el equilibrado de forma racional.

Los ajustes de las válvulas deben revisarse periódicamente.

#### Equilibrado dinámico o automático.

Teniendo en cuenta la necesidad de equilibrado de los circuitos y las definiciones anteriormente expuestas y llegando al entendimiento de que se deben buscar métodos y herramientas para conseguir un equilibrado rápido y seguro, una opción interesante es el uso de Sistemas de equilibrado dinámicos.

Este sistema mantiene de forma automática en cada punto controlado un valor determinado de presión diferencial.

Las válvulas de equilibrado dinámico son automáticas ya que varían su Kvs en función de la variación de la presión diferencial en la instalación y de esta manera garantizan la presión diferencial y el caudal de proyecto en los circuitos controlados.

Permite ahorrar esfuerzo en tiempo y dinero respecto al equilibrado manual, prácticamente no existe ningún proceso de puesta en marcha.

Aporta otros beneficios:

- permite que las válvulas de regulación trabajen con una presión diferencial constante en el circuito de cada terminal, garantizando así una muy buena estabilidad de la regulación; en efecto, la actuación de la válvula de regulación depende sólo de la demanda del terminal que controla y no del comportamiento de otros elementos de la instalación,

- reduce la presión diferencial en las válvulas de regulación, reduciendo ruido y riesgos de cavitación.

#### Soluciones mixtas.

Sobre todo para reducir los costes de inversión, se puede contemplar soluciones mixtas de equilibrado, consistiendo por ejemplo en instalar válvulas de equilibrado automáticas en cada ramal y válvulas de equilibrado manual en cada terminal.

Las válvulas de equilibrado, tanto manuales como automáticas, se seleccionan en base a las recomendaciones de los fabricantes.

## 6. Bombas.

Primero, indicar que no es necesaria una bomba "primaria" (ver fig. 6) a la salida del intercambiador. Si esta configuración es útil en instalaciones convencionales, es inútil, incluso nefasto, en una instalación conectada a una red urbana.

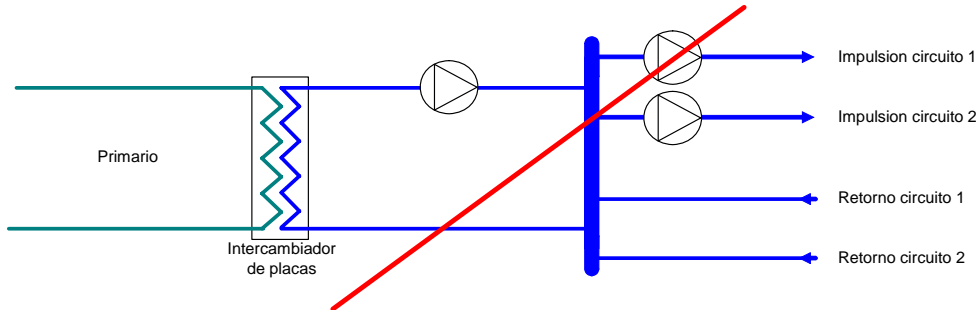


Fig. 6

La solución más correcta y más sencilla es de una bomba (o un grupo de bombas en paralelo) a la salida del intercambiador. En cada circuito se instala una válvula de equilibrado (ver fig. 7)

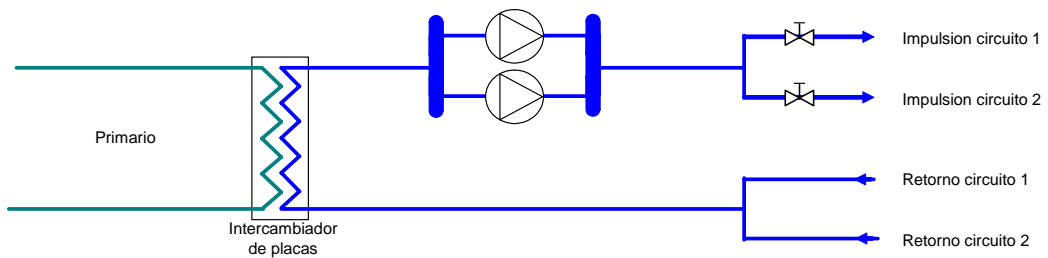


Fig. 7

En caso de pérdidas de carga muy diferentes entre los distintos circuitos, puede resultar más eficiente instalar una bomba (o grupo de bombas) en cada circuito, en la impulsión de cada bomba debe instalarse una válvula de equilibrado de forma a ajustar los caudales de cada bomba (ver fig. 8)

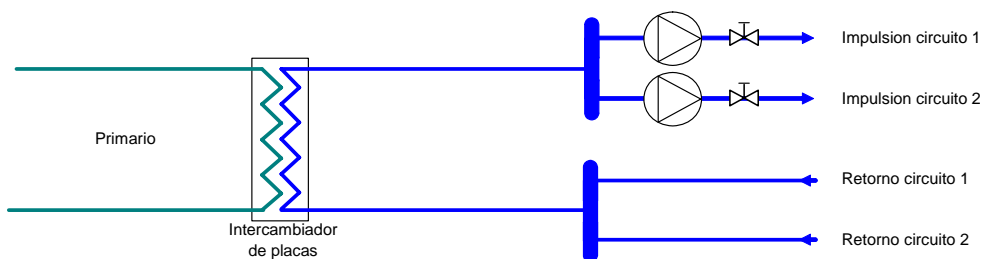


Fig. 8

Como siempre, para la selección de la bomba es necesario conocer el caudal de impulsión y las pérdidas de carga o altura manométrica que tiene que vencer. El caudal necesario será la suma

de los caudales de todos los circuitos acoplados a la bomba, teniendo en cuenta los caudales y pérdidas de carga de las válvulas de equilibrado.

Las pérdidas de carga serán calculadas como en un sistema sin válvula reguladora de caudal, esto es, las debidas a las tuberías, codos, unidades terminales, etc. con los caudales reales de las válvulas de equilibrado seleccionadas y para el circuito más desfavorable. La pérdida de carga que tiene que vencer la bomba para el caudal de trabajo, será igual a la suma de la pérdida de carga del circuito más desfavorable más el valor mínimo del rango seleccionado para la válvula de ese circuito.

El número de bombas será función exclusiva del caudal máximo del sistema, en la condición más desfavorable de clima y confort y del caudal mínimo tomando el juego que ofrece el variador con el mínimo que recomiende el fabricante y el máximo de la bomba a 50 Hz (velocidad máxima). El punto está en conseguir que el mínimo caudal no sea tan grande que en la condición de menor consumo, en estaciones intermedias y en las opuestas (en invierno para red de frío y en verano para red de calor), o sea mínimo de agua fría en invierno y mínimo de agua caliente en verano, supere el caudal de derivación de la válvula presostática. De todas formas, este caudal mínimo de la citada válvula presostática debe ser lo más pequeño posible para evitar exceso de enfriamiento o calentamiento de los retornos. Ejemplo, si el mínimo de bombas no puede ser menor a 50 m<sup>3</sup>/h, la válvula de derivación o de regulación de presión diferencial de muelle será seleccionada para mantener, en la menor pérdida de carga del sistema esos 50 m<sup>3</sup>/h, contando que todas las válvulas de 2 vías de fancoils y climatizadores estén cerradas. El control de las bombas tendrá como consigna la menor presión diferencial que permita el sistema y garantice caudal mínimo en el climatizador más desfavorable.

Si se elige una solución con bombas independientes dedicadas a cada circuito de los edificios, el mismo debe satisfacer las recomendaciones señaladas anteriormente. Esto es, sistema de caudal variable independiente para cada ramal o sector. Esto implicaría el uso de variador de frecuencia (es mejor que el de control de caudal a presión variable debido a que el equilibrado es mucho más fino), del uso de sistema de equilibrado dinámico y de válvula presostática por cada bomba.

## **7. Tratamiento del agua.**

## **8. Adaptación de instalaciones existentes.**

De forma general, las instalaciones existentes adoptan la filosofía de diseño de sistemas de climatización convencionales, es decir, que no toman en cuenta saltos térmicos grandes en los climatizadores así como tampoco el diseño logra un funcionamiento óptimo con bombas con variador de frecuencia.

En los puntos anteriores hemos explicado como dar solución en el equilibrado y regulación que aplica a instalaciones nuevas.

En instalaciones existentes, habitualmente encontramos instalaciones interiores con climatizadores y fancoils con válvulas de control de potencia de 3 vías. Esto va en contra de la filosofía de diseño de secundarios con caudal variable.

Es imperativo pues que las válvulas de 3 vías sean sustituidas por válvulas de 2 vías de doble función, que es, una válvula de control proporcional. A menudo, se puede conseguir esta modificación sin sustituir las válvulas de 3 vías, sino cerrando la vía de by-pass.

Se insiste en la necesidad de un sistema de equilibrado. Este sistema debe existir en cualquier caso, que la instalación sea conectada o no a una red urbana, y/o que sea de caudal constante o variable.

La misma necesidad de válvula de equilibrado aplicaría para válvulas de 2 vías existente que sean todo o nada y que cuyo climatizador no posea válvula de equilibrado dinámica.

También es importante destacar que si aún conseguimos instalaciones existentes que cumplan de forma separada control dinámico de equilibrado y válvula de potencia proporcional queda verificar si la máxima pérdida de carga de proyecto pueda ser soportada por las válvulas existentes. Si esto no se cumple la válvula de potencia nunca podrá cerrar ya que no tendrá par suficiente. Esto imposibilitará un control de temperatura ambiente del local y el consecuente enfriamiento de retornos que provoca un sobreconsumo de energía eléctrica del todo innecesario.

Ya hemos explicado que si el equilibrado no se logra es imposible lograr un buen control de temperatura en los climatizadores y confort en las áreas y locales climatizados. También las instalaciones interiores, que no poseen válvulas de equilibrado dinámico sino que utilizan las válvulas de equilibrado estáticas, requieren un equilibrado manual que consume muchísimas horas hombre de puesta en marcha para su equilibrado. También requiere repasos frecuentes posteriores de ajuste de caudal.

## **9. Resumen.**

Las bases del diseño de una instalación que alcanza un buen nivel de confort, que sea energéticamente eficiente y compatible con la conexión a una red urbana son las siguientes:

- regulación exclusiva con válvulas de dos vías
- válvula presostática de caudal mínimo de la bomba
- equilibrado, preferiblemente con válvulas dinámica (control de presión diferencial) al menos en cada ramal
- variador de velocidad en la bomba
- sonda de presión diferencial para regulación de la bomba cerca del equipo terminal mas desfavorizado
- tratamiento del agua.