
Generación, Transporte y Distribución de Energía

- **Bloque 1: Generación, Transporte y Distribución de Energía Térmica**

- **Tema 1.1: Generación de Energía Térmica**

- **Lección 1.1.1: Generación de Energía Térmica con Motores de Combustión**
- **Lección 1.1.2: Generación de Energía Térmica con Calderas (I)**
- **Lección 1.1.3: Generación de Energía Térmica con Calderas (II)**

- **Tema 1.2: Transporte y Distribución de Energía Térmica**

- **Lección 1.2.1: Transporte y Distribución de Energía Térmica con Líquido**
- **Lección 1.2.2: Repaso al Cálculo de Tuberías**
- **Lección 1.2.3: Transporte y Distribución de Energía Térmica con Vapor**

Lección 1.2.1: Transporte y Distribución de Energía Térmica con Líquido

En el Grado en Ingeniería Marina se ha cursado la asignatura Termodinámica y Mecánica de Fluidos, en la que se ha estudiado, entre otros temas, el diseño de una tubería para el trasiego de líquidos.

Para completar estos conocimientos, en el Máster se presenta esta Lección, en la que se da un paso más allá en el diseño de estas tuberías, y es la necesidad de realizar el equilibrado hidráulico de las mismas, entre otros motivos está el que cuando se calcula el diámetro de una tubería, este raramente coincide con el de una tubería comercial, y por lo tanto la tubería instalada es de un diámetro al inicialmente calculado.

En esta lección se describen los problemas que justifican la necesidad del equilibrado hidráulico en una instalación, particularizando para el caso de una de climatización, para ello se presentan las dos variantes de esta técnica: el equilibrado estático y el equilibrado dinámico, con los principales tipos de válvulas que lo realizan.

1.2.1.1.- ORIGENES DEL EQUILIBRADO HIDRAULICO

La técnica del equilibrado de las instalaciones hidráulicas tiene sus orígenes en las instalaciones de suministro de agua caliente para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) a grandes zonas de población, lo que es conocido como District Heating (DH).

En estas instalaciones se observó que, a pesar de dedicar gran esfuerzo al diseño de la red de tuberías, los circuitos hidráulicos más cercanos a las centrales térmicas desde las que se reparte la energía térmica siempre se veían más favorecidos de caudal que los más alejados, de modo que los primeros tenían sobrecaudales creados a costa de provocar subcaudales en los segundos.

El retorno invertido para estas instalaciones no es una solución aceptable, puesto que con él se aumenta un 50% la longitud de las tuberías, y la rentabilidad de las compañías de DH está supeditada en gran medida a no tener excesivas pérdidas térmicas en las redes de distribución, que dependen entre otros factores de la longitud de las tuberías; como dato se puede decir que la compañía VEKS encargada de la transmisión de calor en Copenhague

tiene casi 100 km de tuberías. En la Figura 1 se puede observar la instalación de una de esas tuberías prefabricadas, cada conducto encierra la tubería (de ida o de retorno) y el aislante térmico.

Otro problema que se presentó en las redes de DH es que para que exista presión suficiente en los circuitos más alejados, la presión en los más cercanos debía ser muy elevada. Y cualquier elemento que se pusiera para reducir la presión en los circuitos sobrepresionados era fuente de ruido.

1.2.1.2.- EL PROBLEMA HIDRAULICO EN LAS INSTALACIONES DE AIRE ACONDICIONADO

Estos mismos problemas, pero en menor escala se producen en los circuitos hidráulicos de los sistemas de aire acondicionado; pero si sólo fuera un problema de escala se podría aplicar el retorno invertido, al menos en la mayoría de los casos que conocemos, ya que tanto el tamaño de las tuberías como su longitud son relativamente reducidos, pero esta solución raramente funciona en éstas redes de tuberías.



Figura 1.- Tuberías de DH [Fuente: http://www.exakm.gr/old_website_en/dh.htm]

Normalmente en las instalaciones de aire acondicionado se tienen uno o varios circuitos hidráulicos que reparten agua fría y/o caliente a las baterías de frío y/o calor de las climatizadoras, pero cada una de éstas suministra aire a un local diferente, y por tanto las necesidades térmicas que se deben cubrir con el agua fría y/o caliente también lo son. Esto motiva que cada batería de la instalación sea distinta a las demás y, por lo tanto, presente diferente pérdida de carga, tanto en el lado del aire, aspecto que no repercute en la instalación de tuberías, como en el hidráulico, que es el tema desarrollado en este artículo.

La pérdida de carga diferente de cada una de las baterías crea en el circuito hidráulico, hace que el retorno invertido no sea efectivo en las instalaciones de climatización, ya que lo que se conseguiría es que las baterías con menos pérdida de carga, normalmente las más pequeñas destinadas a satisfacer las menores demandas térmicas, serían circuitos favorecidos de caudal, mientras que las baterías con mayor pérdida de carga, normalmente las más grandes y destinadas a suplir las mayores demandas térmicas, serían las más desfavorecidas.

Otra cuestión que agrava aún más esta situación es el hecho de que para controlar la energía térmica que emite una batería, normalmente tiene instalada una válvula de tres vías en paralelo con ella, de modo que con su apertura variable realiza un bypas gradual a la misma, Figura 2, lo que hace que la pérdida de carga que presenta el conjunto válvula de 3 vías, bypas y batería no sea constante.

Cuando la válvula de tres vías cierra completamente el camino hacia la batería, entonces la pérdida de carga que presenta el bypas abierto es mínima, y en ese instante tendería a circular gran cantidad de agua por él, lo que crea subcaudales en otras partes de la instalación, este hecho hace que la instalación no pueda transmitir la totalidad de la potencia instalada, aunque sea más que suficiente.

Otro efecto que dificulta el control de las instalaciones es el sobredimensionamiento de las válvulas de control, con lo que éstas pierden autoridad.

La autoridad de una válvula, β , es la relación entre la caída de presión en la válvula cuando ésta está totalmente abierta, Δp_{\min} , y cuando está totalmente cerrada, Δp_{\max} .

$$\beta = \frac{\Delta p_{\min}}{\Delta p_{\max}}$$

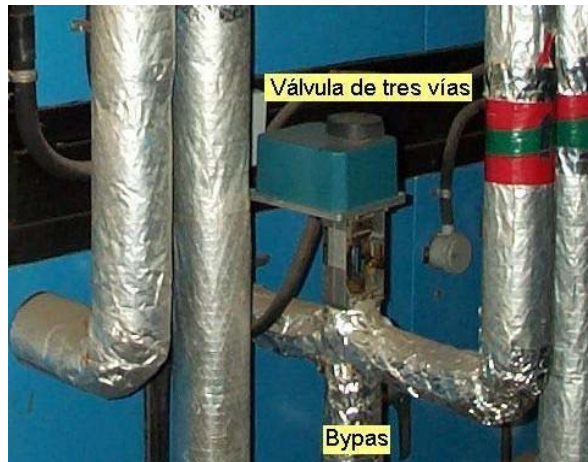


Figura 2.- Válvulas de 3 vías sobre un bypass en la batería de una climatizadora

Las válvulas de control se dimensionan tomando como base Δp_{\min} (válvula completamente abierta), dado que a esta pérdida de carga debe obtenerse el caudal de diseño.

Cuando la válvula está próxima a su posición de cierre, el caudal que circula es inferior al nominal, lo que crea dos efectos:

- Las pérdidas de carga en las tuberías, baterías, ... son menores a las nominales, ya que circula un caudal inferior por ellos
- La presión suministrada por la bomba aumenta (así lo dice la forma de su curva característica)

Esto hace que la presión en los extremos de la válvula cuando está próxima a su cierre, y por lo tanto también el caudal, sean mayores a los que corresponderían teóricamente si se tiene únicamente en cuenta el cierre de la válvula.

El grado de la distorsión que sufre la característica teórica de la válvula depende de β , y cuanto menor sea, mayor es la distorsión.

Los expertos recomiendan una autoridad β mínima de 0,5, lo que indica que la pérdida de carga para el caudal nominal a válvula totalmente abierta, debe ser al menos, la mitad de la presión diferencial disponible.

Por todo ello la técnica del equilibrado hidráulico es de gran importancia para el correcto funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado, ya que el efecto causado por los subcaudales en las baterías colocadas en las partes menos favorecidas, lleva a que no se suministre la demanda térmica requerida en los espacios que climatizan, creando situaciones de disconfort en los ocupantes de los mismos.

La importancia de esta técnica no está sólo en las nuevas instalaciones de climatización, ya que permite detectar y subsanar errores antes de finalizar el montaje de la instalación; sino que es más importante aún aplicarla cuando se trata de reformar una antigua instalación no equilibrada. Estas, aunque estén muy bien diseñadas, siempre presentan descompensaciones en la distribución de agua, que se ven incrementadas si se realizan ampliaciones (situación bastante común en la realidad) y no se tiene en cuenta el equilibrado de la misma.

Especial importancia adquiere el equilibrado hidráulico de la instalación cuando en ella se realizan paradas nocturnas, ya que en el arranque de la misma a la mañana siguiente la demanda es del 100% de la carga, y el correcto equilibrado reduce los periodos de arranque de los circuitos hidráulicamente más desfavorecidos.

1.2.1.3.- VARIANTES DEL EQUILIBRADO HIDRAULICO Y SUS TIPOS DE VALVULAS

Existen dos variantes del equilibrado hidráulico: el estático y el dinámico.

1.2.1.3.1. El equilibrado estático

En este tipo de equilibrado las válvulas que se utilizan, una vez ajustadas, no se vuelven a mover de su posición. En teoría, el equilibrado se podría realizar con una sola válvula en cada terminal, sin embargo esto obligaría a calcular de manera exacta las posiciones de preajuste de cada una de ellas, ya que cada vez que se regula la posición de una válvula para ajustar un caudal por su batería, los caudales de las otras quedan afectados, lo que da lugar a tener que realizar muchas correcciones hasta conseguir equilibrar la instalación.

Para evitar este gran esfuerzo en el equilibrado del sistema, en la práctica se divide la instalación en módulos y en cada uno se coloca una válvula de equilibrado que actúa como compensadora (válvula de compensación); en primer lugar se procede a equilibrar cada uno de los módulos independientemente de los demás (con las válvulas de compensación de los otros módulos cerradas), y finalmente se ajusta con las válvulas de compensación los caudales de los módulos. Cuando esto se logra los caudales de las baterías de cada uno de los módulos estarán equilibrados por la de proporcionalidad conseguida en ellos cuando se realizó su equilibrado.

Existen varios tipos de válvulas que realizan este equilibrado, las más antiguas requieren ajuste manual, son las válvulas ajustadoras de circuito, sus funciones son medir el caudal y ajustarle, a la vez que permiten el corte en el circuito.

En la Figura 3 se incluye un esquema de este tipo de válvulas, que consisten únicamente en una válvula con un vástago ajustable y un dial cuyo tope está limitado, permitiendo una cierta reducción en el caudal de paso. Además posee un par de entradas para medir la presión antes y después del sistema de cierre de la válvula. En ellas el caudal se mide relacionando la caída de presión en ellas y la posición del mando de la válvula, mediante una regla circular.

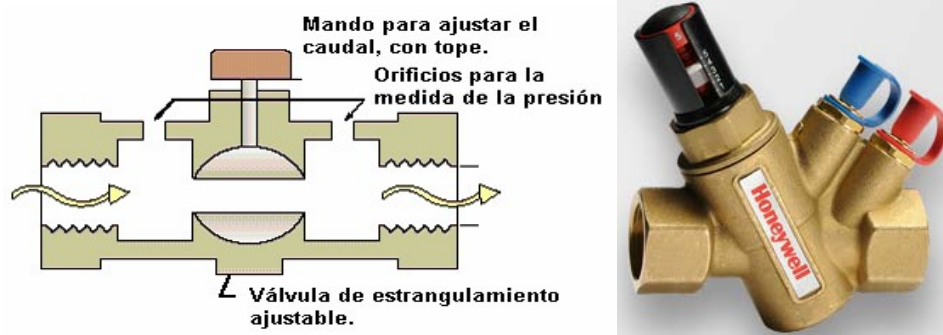


Figura 3.- Esquema de una válvula ajustadora de circuito
[Fuente: <http://www.hydraulic-balancing.info>]

Estas válvulas suelen ir recubiertas de un aislante que es necesario retirar para actuar sobre ellas y leer la posición de ajuste de la válvula, y que debe ser recolocado después de operar sobre la válvula.

Estas válvulas además de requerir un gran esfuerzo para realizar el equilibrado, introducen una gran pérdida de presión en el circuito y su precisión es muy baja, especialmente cuando se trata de medir caudales pequeños, no suele superar el 20%.

También existen válvulas cuyo caudal se ajusta exteriormente, Figura 4, es el tipo más utilizado en Europa, tiene un volante cuyo movimiento acciona un vástago que puede llegar a obturar completamente el paso de agua, el vástago de la válvula está sometido a la acción de un muelle pretensado para eliminar holguras; presentan una alta precisión en ajuste del caudal, accionando el volante numerado, que permite el ajuste exacto de la válvula, que puede realizarse mediante ábacos o con un medidor electrónico conexasión a los terminales de la propia válvula, terminales que permiten la medida de la presión diferencial y del caudal a través de la válvula.

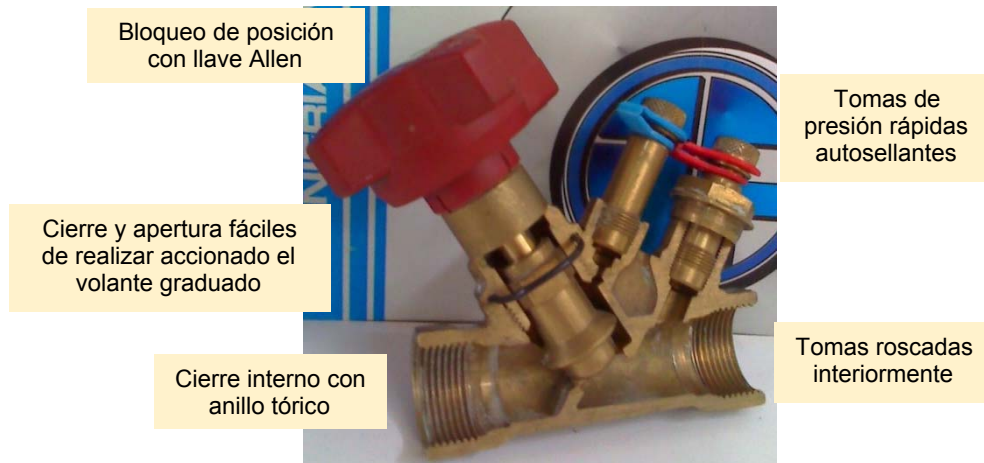


Figura 4- Válvula de equilibrado estático de ajuste exterior
https://http2.mlstatic.com/valvula-tour-anderson-ta-D_NQ_NP_16161-MLA20115159530_062014-F.jpg

Otro tipo de válvulas fundamenta la medida de presión para el cálculo del caudal en un Venturi, en el que mediante un estrechamiento se reduce la sección, con lo que se aumenta la velocidad de paso del agua y por tanto pierde presión, Figuras 5, 6 y 7, la precisión que ofrece midiendo caudales es muy alta. Este tipo de válvulas es muy empleada en Estados Unidos y su principal ventaja es que presenta una baja pérdida de presión.

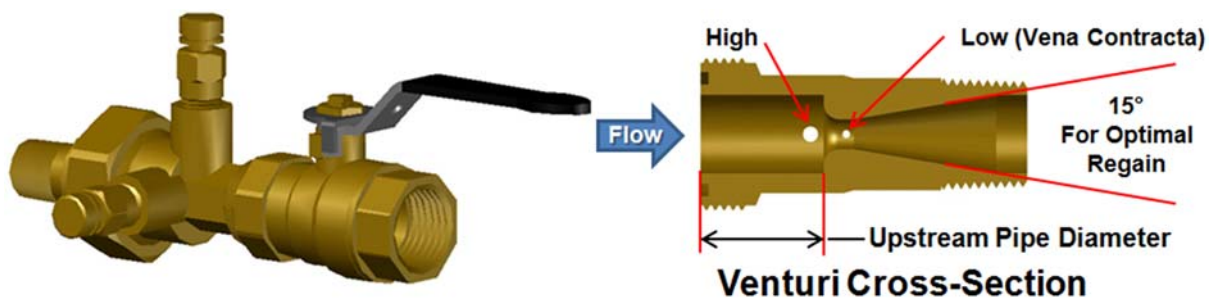


Figura 5.- Válvula de equilibrado manual tipo venturi.
<http://www.prohydronicspecialties.com/manual-balancing/>

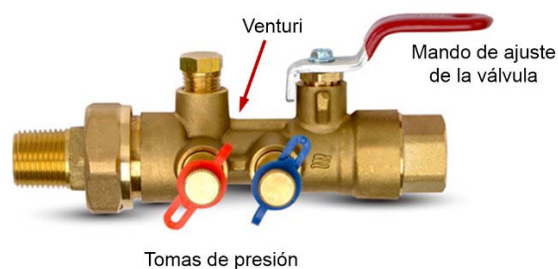


Figura 6.- Válvula de equilibrado manual tipo venturi.
 [Fuente: <http://www.flowdesign.com>]

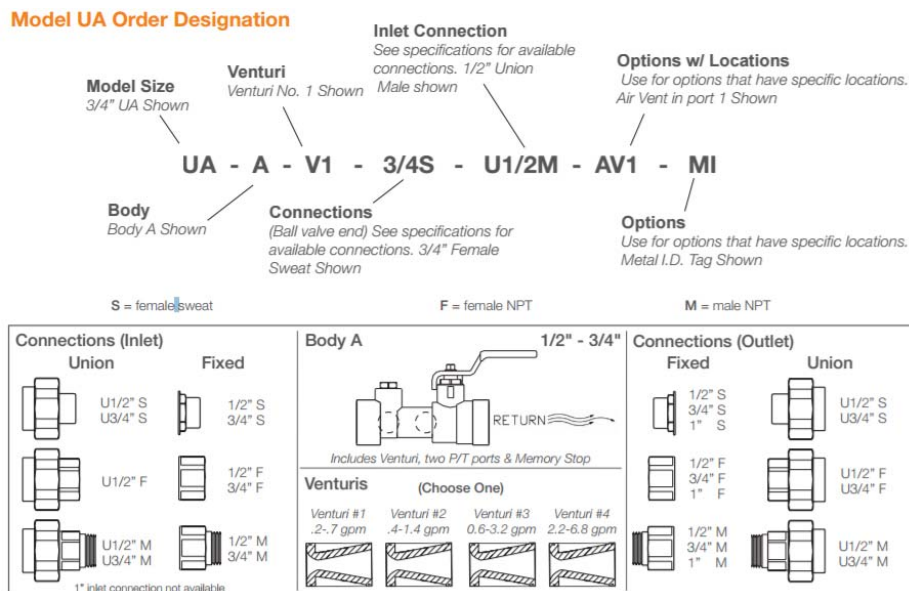


Figura 7.- Catálogo de la válvula de equilibrado manual tipo venturi.
[Fuente: <http://www.flowdesign.com>]

1.2.1.3.2. El equilibrado dinámico

Las válvulas que realizan este tipo de equilibrado están en continuo movimiento en función de la presión diferencial que detectan, con el fin de llegar a obtener el caudal de diseño en todo momento.

Para llevar a cabo el equilibrado hidráulico con éxito, es preciso tener la presión diferencial en la válvula de control constante; esto puede traer problemas con el equilibrado estático en los sistemas de caudal variable, tan de moda hoy en día con la generalización de los convertidores electrónicos de frecuencia para alimentar las bombas, y que éstas puedan funcionar a velocidad variable, y por tanto, caudal variable, por lo que si se emplea el equilibrado estático en estos sistemas, debe acompañarse de reguladores de presión diferencial.

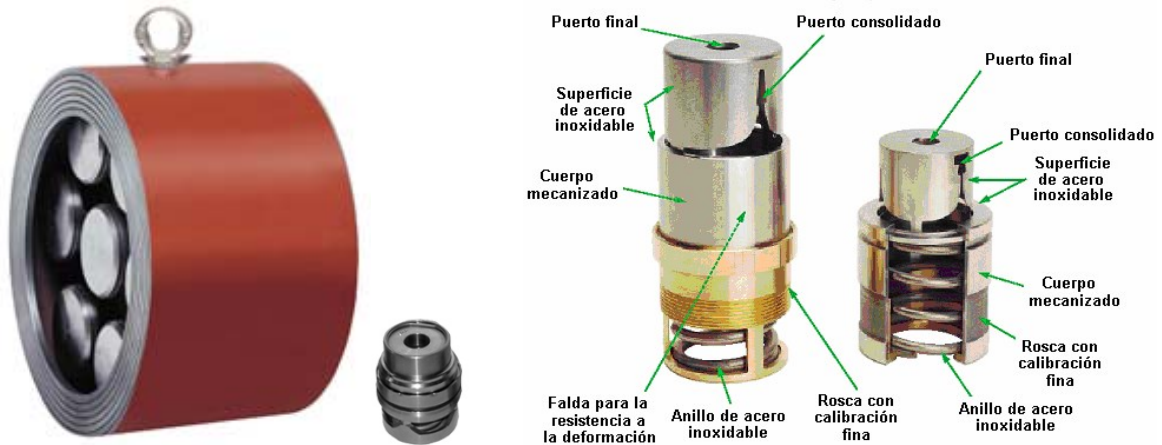
Existen varios tipos de válvulas para realizar el equilibrado dinámico, entre ellas se pueden destacar:

Las válvulas de cartuchos recambiables de caudal fijo, dentro incorporan un cartucho construido en acero inoxidable exclusivo de la propia válvula, Figura 8, el ajuste del cartucho se realiza en fábrica. El cartucho posee una entrada de sección de paso variable (puerto consolidado) y un agujero en la parte superior de sección fija. Cuando ambos están abiertos se tiene la mínima restricción y por tanto el máximo caudal para una cierta presión diferencial dada, y mediante la acción de un muelle que abre o cierra gradualmente el paso fijo en función de la presión diferencial aplicada en el momento sobre el circuito, dejando pasar únicamente el caudal de diseño.

La válvula tiene forma de Y invertida, Figura 9, y el cartucho se aloja en la parte inferior, de manera que pueda ser retirado y cambiado sin la necesidad de cortar la tubería principal. Cuando el diámetro necesario supera las 2 pulgadas, la morfología de las válvulas cambia sustancialmente, ya que se incluyen varios cartuchos en paralelo en el cuerpo de la válvula.

Si el caudal, que está siendo regulado por una válvula de tres vías, está por debajo del rango de control de caudal de la válvula de equilibrado, la presión diferencial está bajo el mínimo necesario para activar el pistón que manda cerrar la apertura; en esta situación el muelle está totalmente extendido y se tiene una restricción de paso mínima, ya que las dos entradas están totalmente despejadas.

Si se está dentro del rango de control del cartucho, la presión diferencial actúa el pistón, el muelle se encoge y tiende a cerrar las aberturas en la proporción justa para mantener el caudal dentro de la desviación máxima permitida.



[<http://www.kieback-peter-iberica.es>]

http://robertomiranda828793.blogspot.com.es/2015_03_01_archive.html

Figura 8.- Válvula recambiable de caudal fijo



Figura 9.- Válvula de cartucho recambiable

[Fuente:<http://toancaupumps.com/ToanCau.aspx?at=ProductDetail&b=5&g=139&i=414>]

En último lugar, si se está por encima del rango de control, el muelle está completamente contraído y el cartucho actúa presentando únicamente un orificio, el superior, de sección fija. Estas tres situaciones se esquematizan en la Figura 10.

Las válvulas de cartuchos recambiables de caudal ajustable interiormente, tienen la morfología muy similar a la anterior, con la salvedad de que ahora el cartucho interno se puede ajustar dentro del rango de presión a varios caudales posibles de trabajo.

El número de caudales que se pueden obtener para un solo cartucho suele ser de ocho, esto se consigue sacando el cartucho y girándole de su posición inicial.

Las válvulas estabilizadoras de la presión diferencial, Figura 11, funcionan en tándem con las válvulas de equilibrado estáticas y permiten que éstas realicen un equilibrado correcto con presiones variables en el circuito. Poseen una membrana sobre la que actúa un juego de presiones: por un lado la presión a la salida de la propia válvula estabilizadora, y por otro, mediante una conexión realizada con tubo capilar, presión en la válvula de control.

Cada regulador automático se presionará lo suficiente para garantizar el caudal de proyecto de cada unidad terminal e independientemente de que cambien las condiciones de presión diferencial de entrada a la unidad terminal, siempre que se trabaje dentro del amplio rango de presión diferencial del cartucho seleccionado.

Cuando la presión diferencial entre el capilar y la membrana aumenta, la fuerza sobre ésta se incrementa cerrando progresivamente el paso de agua en el estabilizador, de manera que aumenta la caída de presión en el estabilizador, con lo que la presión diferencial en la válvula de control disminuye. Si la presión diferencial entre el capilar y la membrana disminuye, la

fuerza sobre ésta decrece aumentando el paso de agua en el estabilizador y disminuyendo la pérdida de presión en él, con lo que la presión diferencial en la válvula de control aumenta. De este modo se mantiene prácticamente constante la presión a su salida.

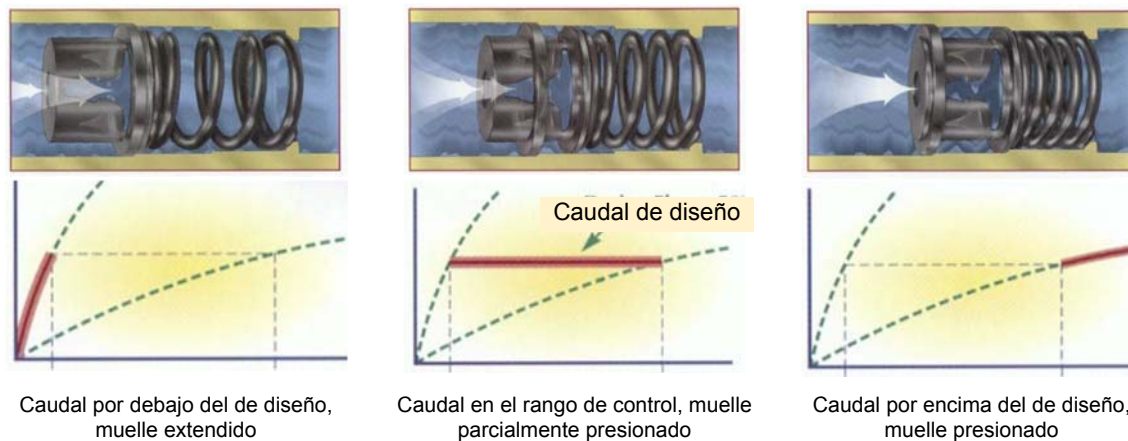


Figura 10.- Situaciones posibles en el funcionamiento de una válvula de cartucho [Fuente: <http://jmpcoblog.com/hvac-blog/hydrionic-balancing-part-10-proportionate-balancing-with-flow-limiter>]



Figura 11.- Estabilizador de la presión diferencial [Fuente: <http://www.hydrionic-balancing.info/for-dynamic-balancing-with-differential-pressure-control.html>]

La presión diferencial de consigna se selecciona de forma que el caudal sea el de diseño (se mide en la válvula de equilibrado), de ésta manera, la válvula de control nunca estará sobredimensionada, por lo que toda presión adicional queda aplicada sobre el regulador de presión.

1.2.1.4.- EMPLAZAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE EQUILIBRADO

Respecto a la posición de las válvulas de equilibrado, independientemente de que estas sean estáticas o dinámicas, hidráulicamente es exactamente igual colocarlas en la entrada del agua al conjunto válvula de control-climatizadora o en la salida, ya que el caudal de entrada es igual al de salida.

Sin embargo, es normal instalarlas en el retorno por varias razones, según recomienda ASHRAE:

- Se minimiza el atrapamiento de aire
- Se reducen los ruidos
- Decrece la posibilidad de cavitación en la válvula de control

Además si la válvula dispone de dispositivo de vaciado, lo que es habitual en las válvulas estáticas, permite vaciar la unidad terminal.

Se recomienda situarlas en el sentido tal que el agua tienda a abrir la válvula, ya que así la medida del caudal es más precisa y los ruidos se atenúan.

Por otra parte, con el fin de garantizar una buena precisión en la medida del caudal en una válvula de equilibrado, se recomienda montarla aguas abajo de un tramo recto de tubería cuya longitud sea al menos superior a 5 veces su diámetro y lo más próxima a otro tramo de longitud superior a 2 veces el mismo.

Si la válvula de equilibrado se monta inmediatamente después de algún componente susceptible de crear importantes perturbaciones hidráulicas, tal como una bomba o una válvula de control, se recomienda que el tramo recto de tubería previo a la válvula sea como mínimo de una longitud igual a 10 veces el diámetro. Por supuesto, no debe instalarse ningún elemento en dicho tramo que pueda crear perturbaciones, como por ejemplo una sonda interna de temperatura.

1.2.1.- CONCLUSIONES

En el artículo se ha justificado la necesidad del equilibrado hidráulico en las instalaciones de climatización, y se desarrollan las dos variantes de esta técnica, el equilibrado estático y el equilibrado dinámico, con los principales tipos de válvulas que lo realizan.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pinazo, J.M. DITE 4.01 TUBERIAS, CALCULO DE LAS PERDIDAS DE PRESION Y CRITERIOS DE DISEÑO.
- [2] Petitjean, R. EQUILIBRADO DE LOS BUCLES DE CONTROL. T&A Hydronics.
- [3] Petitjean, R. EQUILIBRADO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. T&A Hydronics.
- [4] Petitjean, R. ESTABILIZACIÓN DE LAS PRESIONES DIFERENCIALES. T&A Hydronics.
- [5] Ara, Pablo, EQUILIBRADO HIDRAULICO DEL HOSPITAL COMARCAL DE LAREDO EN SU PARTE FRIO.