

Los sistemas de climatización, en general, deben cumplir dos requisitos fundamentales: garantizar un elevado confort térmico y limitar el consumo de energía. Para que esto sea posible, es necesario suministrar a los terminales de la instalación la cantidad adecuada de fluido caloportador para que puedan calentar, refrigerar y deshumidificar dentro de los valores de diseño. Según las leyes de transmisión de calor, **la emisión o extracción de calor** por parte de los terminales **depende del caudal de fluido** que lo atraviesa.

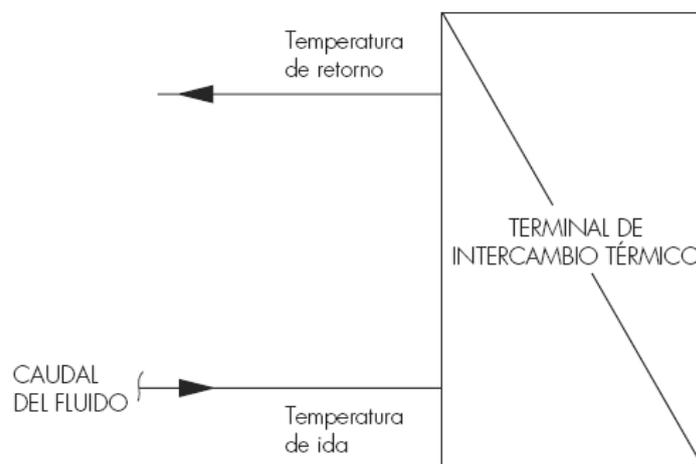


Figura 9.1 – Controlar el caudal resulta fundamental para limitar el consumo energético y el bienestar térmico

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Por tal motivo, para asegurar la eficacia de la instalación, es preciso determinar con precisión el caudal que se envía a cada terminal. Si los terminales reciben el **caudal adecuado de fluido**, pueden funcionar en las condiciones nominales, es decir, en las condiciones para las que fueron dimensionados. En este caso se dice que el **circuito está equilibrado**.

Se dice que un circuito está equilibrado hidráulicamente si cada una unidad terminal que compone en circuito recibe en todo momento el caudal para el que fue diseñado

Si el circuito está equilibrado:

- Los terminales funcionan correctamente.
- A todas las unidades terminales les llegan el caudal para el que fueron diseñados.
- Se evitan velocidades del fluido demasiado elevadas, que pueden causar ruidos y acciones abrasivas.
- Se impide que las bombas funcionen en condiciones de bajo rendimiento.
- Se limitan las presiones diferenciales que actúan sobre las válvulas de regulación, asegurando el funcionamiento correcto de estos dispositivos.

El fenómeno del equilibrado hidráulico de un circuito se debe a que la pérdida de carga es proporcional a la longitud de la tubería, por lo que en los terminales situados a más distancia se tendrán una mayor pérdida de carga, y en los más cercanos una pérdida menor.

El caudal tiende a circular por el circuito de menor pérdida, como consecuencia los terminales más cercanos tendrán un caudal excesivo, y los más alejados un caudal insuficiente. El circuito estará entonces desequilibrado.

Para conseguir el equilibrado de un circuito se pueden utilizar principalmente tres métodos:

- *Equilibrado natural*: Mediante la utilización de determinados recorridos de tuberías que tengan como objetivo equilibrar la red (véase apartado 9.2).
- *Equilibrado estático*: Mediante válvulas de equilibrado estático (véase apartado 9.3.1 y 9.3.2).
- *Equilibrado dinámico*: Mediante válvulas de equilibrado dinámico (véase apartado 9.3.3).

Como ya se ha comentado, en la mayoría de los casos, estos problemas son debidos a que no se obtienen en la instalación, los caudales de proyecto, hecho que además impide a los reguladores (válvulas de dos vías, tres vías) trabajar en las condiciones adecuadas. Sólo si se obtienen los caudales nominales en las condiciones de diseño, éstos pueden regular eficazmente. La única manera consiste en “equilibrar” la

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

instalación, es decir, en ajustar los caudales en todo momento a los valores de diseño mediante válvulas repartidas en la red hidráulica de la instalación. Esta operación debe realizarse en los tres niveles siguientes:

1. Generadores térmicos. Las calderas y los grupos de frío deben estar equilibrados ya que el caudal de cada uno de ellos debe, en la mayoría de los casos, mantenerse constante. Las fluctuaciones del caudal conducen a una reducción de la eficiencia de producción y de la vida útil de las unidades.
2. Red de distribución. La distribución debe estar equilibrada para garantizar que todos los terminales reciban, como mínimo, el caudal nominal, en cualquier régimen de carga.
3. Módulos hidráulicos. Cada uno de los módulos deben estar equilibrados para proporcionar a las válvulas de control las condiciones idóneas de trabajo y para compatibilizar los caudales del primario y secundario (*véase apartado 9.4*).

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO**9.1 – Un caso práctico sobre equilibrado de redes hidráulicas**

Para entender mejor en que consiste el equilibrado hidráulico se propone el siguiente ejercicio práctico.

Problema 9.1 Dibujar un esquema de la red de tuberías localizando los accesorios y numerando los tramos de la red, suponiendo que se trata de un sistema a dos tubos. Obtener los caudales que llegan a cada una de las unidades terminales (numeradas).

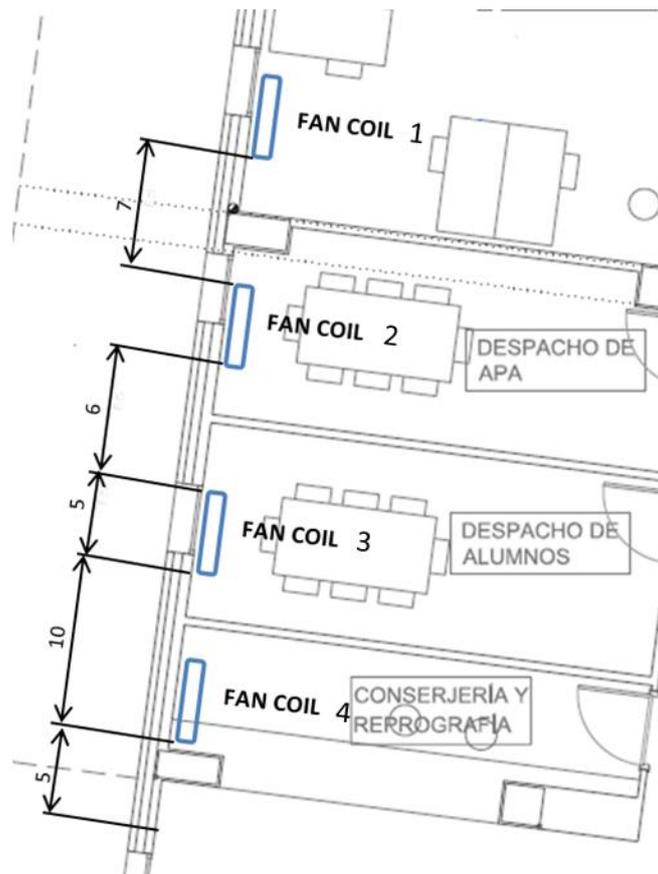


Figura 9.2 – Locales a climatizar mediante fancoils

Veamos un posible sistema de distribución:

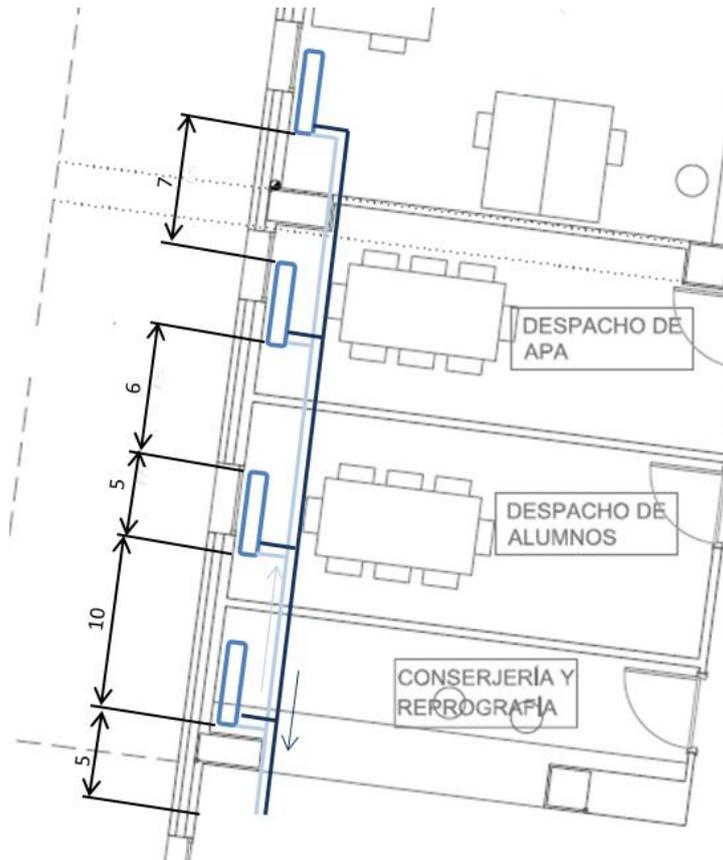
TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Figura 9.3 – Sistema de retorno directo para problema 9.1

Si recordamos del tema 8.2, tenemos un sistema de retorno directo distribuido a cuatro fancoils, cuyas características equivalen a los fancoils utilizados en el tema 4, siendo en este caso, los cuatro equipos de las mismas características.

	PÉRDIDA DE CARGA	CAUDAL
FAN COIL F1	20 kPa	0,22 l/s

Figura 9.4 – Pérdidas de carga en fancoil

Para simplificar el problema, hemos eliminado todo tipo de válvulas, que aunque estrictamente necesarias, nos facilitará el cálculo y la comprensión del problema.

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Figura 9.5 – Pérdidas de carga en fancoil

TRAMO		Tipo de tramo	CAUDAL [l/s]	DN	T [° C]	ΔP [Pa/m]	LONGITUD	ΔP TOTAL [kPa]
DE	A							
A	B	Recto	0,88	1 ½ ''	7	222,8	5	1,114
HACIA	C	T (desv)	0,22	¾''	7	K=1,14		0,421
HACIA	G	T (direc)	0,66	1 ½ ''	7	K=0,38		0,14
EN	B	Estrecham	0,22	¾''	7	K=5,52		1,636
B	C	Recto	0,22	¾''	7	543,6	1,5	0,543
C	D	Fancoil	0,22	Fancoil				20
D	E	Recto	0,22	¾''	12	543,6	1,5	0,543
EN	E	Ensancham	0,22	¾''	12	K = 0,6		0,177
HACIA	F	T (desv)	0,22	1 ½ ''	12	K = 1,14		0,665
B	G	Recto	0,66	1 ½ ''	7	323,3	10	3,233
HACIA	H	T (desv)	0,22	¾''	7	K = 1,32		0,207
EN	G	Estrecham	0,22	¾''	7	K = 2,27		0,355
HACIA	J	T (direc)	0,44	1 ¼''	7	K = 0,38		0,054

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

G	H	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543
H	I	Fancoil	0,22	Fancoil				20
I	K	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,543
EN	K	Ensancham	0,22	¾"	12	K = 0,6		0,177
HACIA	E	T (desv)	0,22	¾"	12	K = 1,14		0,665
G	J	Recto	0,44	1 ¼"	12	155,7	11	1,713
HACIA	W	T (desv)	0,22	¾"	7	K = 1,5		0,444
EN	J	Estrecham	0,22	¾"	7	K = 2,27		0,672
HACIA	1	T (direc)	0,22	¾"	7	K = 0,5		0,148
EN	J	Estrecham	0,22	¾"	7	K = 2,27		0,672
J	W	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543
W	M	Fancoil	0,22	Fancoil				20
J	W	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,543
EN	M	Ensancham	0,22	¾"	12	K = 2,27		0,672
HACIA	K	T (desv)	0,22	¾"	12	K = 1,32		0,391
M	1	Recto	0,22	¾"	7	0,543	12	6,516
EN	1	Codo	0,22	¾"	7	K = 0,75		0,222
1	O	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543
O	P	Fancoil	0,22	Fancoil				20
P	2	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,529
EN	2	Codo	0,22	¾"	12	K = 0,75		0,222
2	N	Recto	0,22	¾"	12	543,6	12	6,489
EN	N	T (direc)	0,22	¾"	12	K = 0,5		0,296
N	K	Recto	0,44	1 ¼"	12	151	11	1,661
EN	K	T (direc)	0,44	1 ¼"	12	K = 0,44		0,068
K	E	Recto	0,66	1 ½ "	12	315	10	3,156
EN	E	T (direc)	0,66	1 ½ "	12	K = 0,38		0,344
E	F	Recto	0,88	1 ½ "	12	535,3	5	2,676

Figura 9.6 – Tabla de pérdidas de carga para problema 9.1

Veamos ahora las pérdidas de carga que se produce en cada uno de los caminos hacia sus respectivos fancoils

	FANCOIL 1	FANCOIL 2	FANCOIL 3	FANCOIL 4
Δp	43,761	35,267	33,207	27,775

Figura 9.7 – Pérdidas de carga en distribución hacia cada fancoil (impulsión y retorno incluido)

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Como el caudal que asegurará la bomba será aquel que provoque la mayor pérdida de carga, sabremos que el caudal que le llega al fancoil 4 son los 0,22 l/s de diseño. Veamos que sucede con el resto de los fancoils.

Aprovechando la ley que relaciona las caídas de presión y caudales en tuberías ($\Delta p \sim Q^2$):

$$Q \dot{m}_{V_4} = \sqrt{\dot{m}_{V_1}^2 \left(\frac{\Delta p_4}{\Delta p_1} \right)} = 0,276 \text{ l/s} \quad 9-1$$

$$\dot{m}_{V_3} = \sqrt{\dot{m}_{V_1}^2 \left(\frac{\Delta p_3}{\Delta p_1} \right)} = 0,245 \text{ l/s} \quad 9-2$$

$$\dot{m}_{V_2} = \sqrt{\dot{m}_{V_1}^2 \left(\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} \right)} = 0,241 \text{ l/s} \quad 9-3$$

$$\dot{m}_{V_1} = 0,22 \text{ l/s} \quad 9-4$$

Como el resto de las unidades terminales (fancoils 2, 3 y 4) tienen menores caídas de presión, significa que por estas unidades circulará un caudal más alto que el de diseño.

Vemos con este ejemplo, las diferencias de caudal que se producen en sistemas desequilibrados y las implicaciones más directas que tiene un circuito mal balanceado. De hecho, el RITE no permite sistemas cuyo desequilibrio máximo alcance un 15 %, sin embargo, y por razones obvias se recomienda siempre tener sistemas con diferencias mucho menores.

	Caudal	Desequilibrio
FANCOIL 1	0,22	0 %
FANCOIL 2	0,241	9,54 %
FANCOIL 3	0,245	11,36 %
FANCOIL 4	0,276	25,45 %

Figura 9.8 – Desequilibrios entre cada uno de los equipos

RITE prescribe un desequilibrio máximo del 15 % entre circuitos, aunque siempre son convenientes valores mucho menores.

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO**9.2 – Equilibrado natural**

Consiste en utilizar determinadas configuraciones en el recorrido de las tuberías consiguiendo un circuito totalmente equilibrado. Este tipo de configuración ya lo habíamos visto en temas anteriores (*véase tema 8 apartado 2.4, sistema de retorno inverso*), y consiste en conseguir que todos los circuitos de un mismo ramal tengan la misma distancia, de esta forma se consigue que todas las pérdidas de cargas hacia todas las unidades terminales, sean iguales.

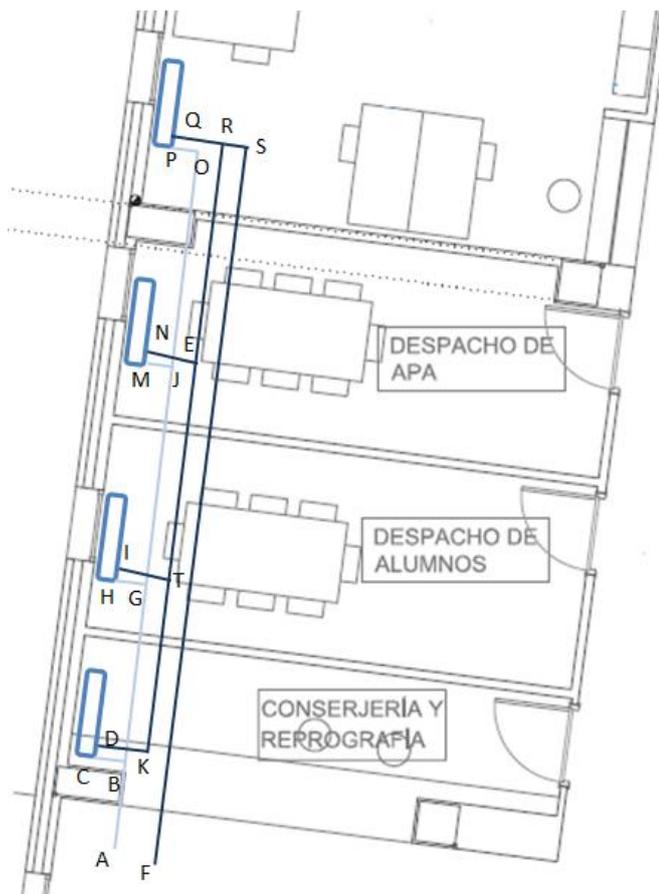


Figura 9.9 – Problema 9.1 resuelto con un sistema de retorno inverso

TRAMO		Tipo de tramo	CAUDAL [l/s]	DN	T [° C]	ΔP [Pa/m]	LONGITUD	ΔP TOTAL [kPa]
DE	A							
A	B	Recto	0,88	1 ½''	7	222,8	5	1,114
EN	B	Estrecham	0,66	1 ¼''	7	K = 0,29		0,048
HACIA	C	T (desv)	0,22	1 ¼''	7	K = 1,14		0,191
HACIA	G	T (direc)	0,22	1 ¼''	7	K = 0,38		0,063
B	C	Recto	0,22	¾''	7	543,6	1,5	0,543
C	D	Fancoil	0,22	Fancoil				20

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

D	K	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,508	
B	G	Recto	0,66	1 ½ "	7	323,3	10	3,233	
HACIA	H	T (desv)	0,22	¾"	7	K = 1,32		0,207	
EN	G	Estrecham	0,22	¾"	7	K = 2,27		0,355	
HACIA	J	T (direc)	0,44	1 ¼"	7	K = 0,38		0,054	
G	H	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543	
H	I	Fancoil	0,22	Fancoil				20	
I	T	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543	
EN	T	T (desv)	0,22	¾"	12	K = 1,14		0,665	
G	J	Recto	0,44	1 ¼"	12	155,7	11	1,713	
HACIA	M	T (desv)	0,22	¾"	7	K = 1,32		0,207	
EN	J	Estrecham	0,22	¾"	7	K = 2,27		0,355	
J	M	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543	
M	N	Fancoil	0,22	Fancoil				20	
N	O	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,543	
EN	J	T (desv)	0,22	¾"	12	K = 1,32		0,185	
J	O	Recto	0,22	¾"	7	0,543	12	6,516	
EN	O	Codo	0,22	¾"	7	K = 0,75		0,222	
O	P	Recto	0,22	¾"	7	543,6	1,5	0,543	
P	Q	Fancoil	0,22	Fancoil				20	
Q	R	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,525	
EN	K	Codo	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,525	
K	T	Recto	0,22	¾"	12	543,6	1,5	0,525	
EN	T	T (direc)	0,22	¾"	12	K = 0,5		0,148	
T	E	Recto	0,44	1 ½ "	12	315	10	3,156	
EN	E	T (direc)	0,44	1 ½ "	12	K = 1,08		0,169	
E	R	Recto	0,66	1 ½ "	12	543	12	6,516	
EN	R	T (desv)	0,88	1 ½ "	12	K = 1,14		0,357	
R	S	Recto	0,88	1 ½ "	12	535,3	1,5	0,802	
EN	S	Codo	0,88	1 ½ "	12	K = 0,57		0,351	
S	F	Recto	0,88	1 ½ "	12	535,3	38	20,33	

Figura 9.10 – Tabla de pérdidas de carga para problema 9.1

Veamos ahora las pérdidas de carga que se produce en cada uno de los caminos hacia sus respectivos fancoils

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

	FANCOIL 1	FANCOIL 2	FANCOIL 3	FANCOIL 4
Δp	43,283	46,130	44,514	44,919

Figura 9.11 – Pérdidas de carga en distribución hacia cada fancoil (impulsión y retorno incluido)

Como se puede ver, y tal y como vimos en el capítulo anterior, las diferencias de presión entre cada uno de los caminos es prácticamente inapreciable.

	Caudal	Desequilibrio
FANCOIL 1	0,227	3,2 %
FANCOIL 2	0,22	0 %
FANCOIL 3	0,224	1,8 %
FANCOIL 4	0,223	1,4 %

Figura 9.12 – Tabla de pérdidas de carga y desequilibrios para sistema de retorno inverso

233

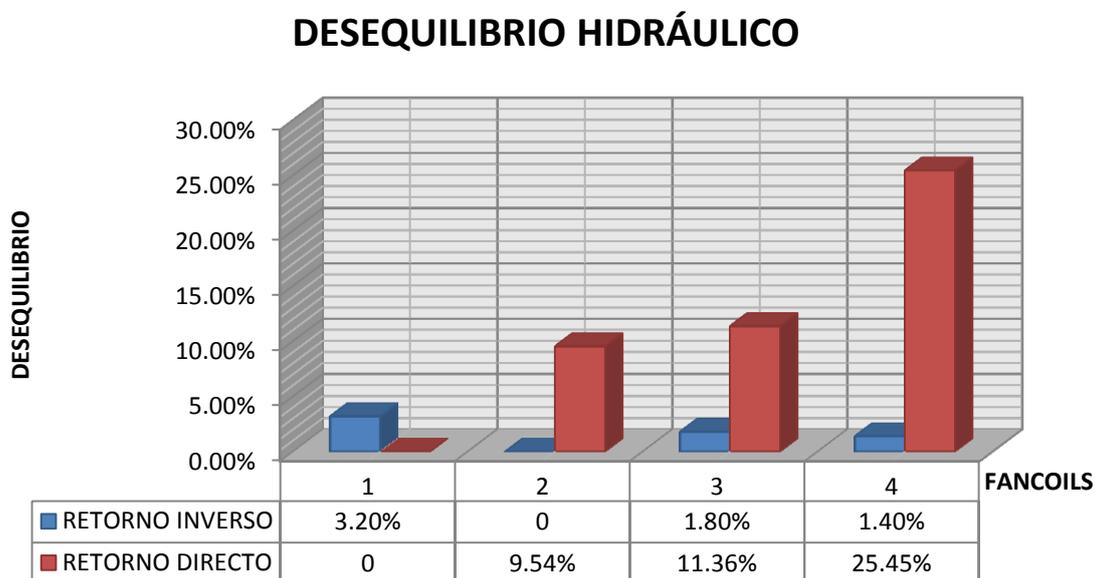


Figura 9.13 – Desequilibrios hidráulicos producidos por sistemas de retorno directo e inverso

Sin embargo, para este caso la potencia de bombeo sería mayor en el caso de retorno inverso.

Si recordamos la potencia de bombeo consumida por una bomba (ecuación 6-1):

$$P_{c,directo} = 74,06 \text{ W} \quad 9-5$$

$$P_{c,inverso} = 111,79 \text{ W} \quad 9-6$$

9.3 – El equilibrado de una red

Para evitar fenómenos los fenómenos de desequilibrio tan poco deseados, se instalan válvulas de equilibrado que permiten igualar el caudal que llegan a cada unidad terminal. Es necesario subrayar que las válvulas de equilibrado constituyen únicamente una herramienta más y no una solución.

Las válvulas de equilibrado son indispensables en una red hidráulica, sin embargo, los criterios generales para diseñar una red son mucho más importantes.

234

El principio de funcionamiento de una válvula de equilibrado es bien fácil, consiste en provocar una pérdida de carga de forma que todos los caminos hacia las unidades terminales tengan el mismo caudal. Veamos el problema 8.1, para que el circuito estuviese equilibrado necesitaríamos provocar una pérdida de carga en el fancoil 1 de

$$\text{FANCOIL 2: } 43,761 \text{ kPa} - 35,267 \text{ kPa} = 8,494 \text{ kPa} \quad 9-7$$

$$\text{FANCOIL 3: } 43,761 \text{ kPa} - 33,207 \text{ kPa} = 10,554 \text{ kPa} \quad 9-8$$

$$\text{FANCOIL 4: } 43,761 \text{ kPa} - 27,775 \text{ kPa} = 15,986 \text{ kPa} \quad 9-9$$

- DIMENSIONADO DE UNA VÁLVULA DE EQUILIBRADO:

Problema 9.2- Dimensiona una válvula de equilibrado para el fancoil 1 del problema 9.1

Debemos de crear una pérdida de carga de 15,986 kPa para un caudal de $0,22 \text{ l/s} = 792 \text{ l/h}$. Aplicando la fórmula siguiente:

$$K_v = \frac{0,01 \cdot q}{\sqrt{\Delta p}} = \frac{0,01 \cdot 792}{\sqrt{15,986}} = 1,98 \text{ m}^3/\text{h} \quad 9-10$$

Necesitaríamos un catálogo para encontrar una válvula que encajase con estas características.

Veamos ahora los distintos tipos de válvulas que podemos utilizar para equilibrar un circuito

El equilibrado hidráulico resulta fundamental y suele representar menos del 1 % de la inversión total en equipos de una instalación de climatización.

9.3.1- Equilibrado estático

Consiste en instalar válvulas de equilibrado estático en cada terminal, y también, a veces en las columnas y los equipos de generación. Una vez instaladas, es necesario que un especialista realice el ajuste del K_{vs} (se pueden ajustar mediante un aparato, véase figura 9.14) 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.



Figura 9.14– Ajuste de una válvula de equilibrado estático

Aunque cada fabricante tiene sus propias válvulas de equilibrado estático, todas funcionan con el mismo sistema.



Figura 9.15 – Válvula de equilibrado estático de Tour Andersson

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

En las válvulas de equilibrado estático, el caudal se regula con el mando de acuerdo con el Δp medido en las tomas de presión, tal y como se puede ver en la figura 9.14. Es decir, que una vez seleccionada la válvula que va a ser instalada se debe de calibrar manualmente.

Imaginemos que tenemos una instalación como la del problema 9.1, tras seleccionar la válvula e instalarla procedemos a su regulación para que produzcan la pérdida de carga deseada.

Problema 9.3 – Si tardamos 5 minutos en calibrar una válvula de regulación estática, ¿Cuánto tiempo tardaríamos en regular la instalación del problema 9.1?

Para empezar, digamos que instalamos una válvula para cada unidad terminal, es decir, un total de 4 válvulas. Una vez instaladas, regulamos la primera de las válvulas (cualquiera de ellas), para que produzca la pérdida de presión deseada. En la segunda de las válvulas, volvemos a regular el mando para que la pérdida de presión sea la deseada, sin embargo, al modificar la pérdida de presión en la segunda, varía el caudal en toda la instalación, y por lo tanto es necesario volver a calibrar la primera de las válvulas.

Las válvulas de equilibrado estático funcionan en un punto concreto de caudal y presión, si la caída de presión en la instalación o el caudal se ve modificado...

Por lo tanto, contestando a la pregunta de nuestro problema, necesitaríamos:

$$4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24 \text{ minutos}$$

Si tuviésemos 5 válvulas, tardaríamos:

$$5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120 \text{ minutos} = 2 \text{ horas}$$

Problema 9.4 – Selecciona una válvula de equilibrado estático para las fancoils 2, 3 y 4 que permitan el equilibrado de la red.

Las válvulas de equilibrado estático se seleccionan de manera similar a las válvulas de control (tema 4.8).

La autoridad de la válvula (K_v) es la característica que define cada una de las válvulas de equilibrado, viene definida con la siguiente fórmula (9-10):

$$K_v = 0,01 \cdot \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}}$$

Para los fancoils 2, 3 y 4 se procederá de la siguiente forma:

Conocemos la caída de presión que necesitamos forzar para que llegue al fancoil el caudal de diseño.

$$\text{FANCOIL 2: } 43,761 \text{ kPa} - 35,267 \text{ kPa} = 8,494 \text{ kPa}$$

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

$$\text{FANCOIL 3: } 43,761 \text{ kPa} - 33,207 \text{ kPa} = 10,554 \text{ kPa}$$

$$\text{FANCOIL 4: } 43,761 \text{ kPa} - 27,775 \text{ kPa} = 15,986 \text{ kPa}$$

Y además sabemos que el caudal que debe de llegar es de $0,22 \text{ l/s} = 792 \text{ l/h}$ con lo que:

$$K_{v,\text{fancoil } 2} = 0,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{v,\text{fancoil } 3} = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{v,\text{fancoil } 4} = 0,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

La entrada a los fancoils es a DN 20, por lo que elegiremos una válvula que tenga como mínimo o el inmediatamente superior.

Kv values

Turns	DN 10/09	DN 15/14	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50
0.5	-	0.127	0.511	0.60	1.14	1.75	2.56
1	0.090	0.212	0.757	1.03	1.90	3.30	4.20
1.5	0.137	0.314	1.19	2.10	3.10	4.60	7.20
2	0.260	0.571	1.90	3.62	4.66	6.10	11.7
2.5	0.480	0.877	2.80	5.30	7.10	8.80	16.2
3	0.826	1.38	3.87	6.90	9.50	12.6	21.5
3.5	1.26	1.98	4.75	8.00	11.8	16.0	26.5
4	1.47	2.52	5.70	8.70	14.2	19.2	33.0

Figura 9.16 – Valores de Kv de catálogo para una válvula de equilibrado estático (Tour Andersson)

Para los fancoils elegiremos las siguientes válvulas:

FANCOIL	Kv [m ³ /h]	Kv [m ³ /h] de válvula	“Turns”
2	0,93	1,19	1,5
3	0,75	0,757	1
4	0,50	0,511	0,5

Figura 9.17 – Válvulas elegidas para equilibrar el circuito

En la figura 9.17, la columna “Turns” corresponde al número de vueltas que hay que darle al mando (figura 9.15) de la válvula de equilibrado para calibrarla y que produzca la pérdida de presión deseada.

9.3.2- Reguladores de presión diferencial

Los reguladores de presión diferencial mantienen constante la diferencia de presión entre dos puntos de un circuito hidráulico. La válvula de regulación se inserta en el circuito de retorno y se conecta, mediante un tubo capilar, a otra válvula situada en el circuito de impulsión.

Este tipo de sistemas de regulación se emplean en sistemas a caudal variable, con válvulas de dos vías, para limitar el incremento de presión diferencial cuando varía la regulación en los fancoils. El propósito de la válvula de regulación es mantener una caída de presión constante en un ramal determinado de la instalación.

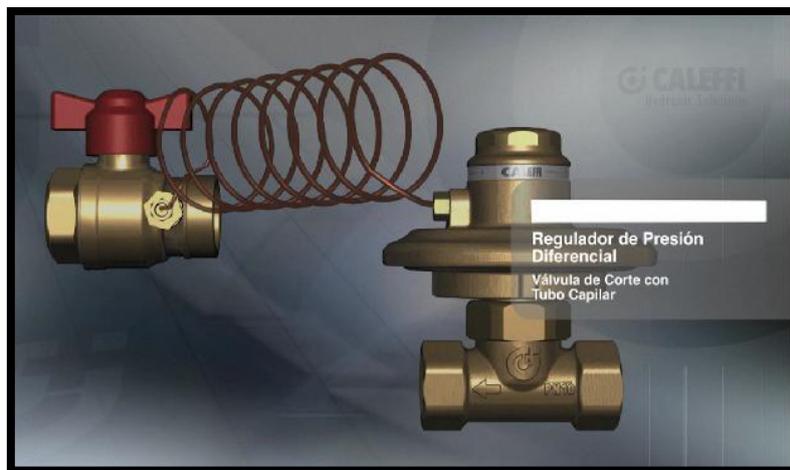


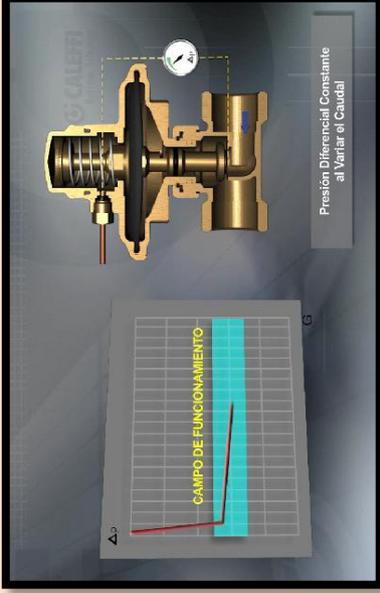
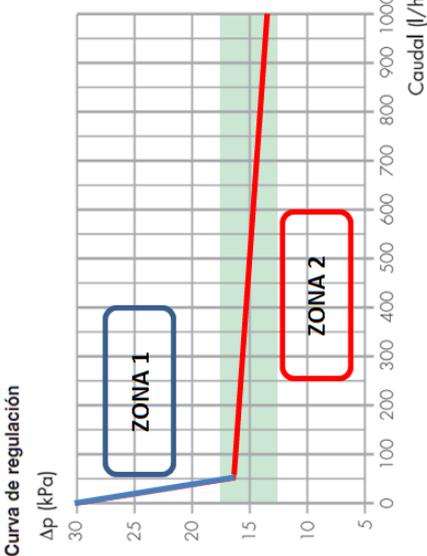
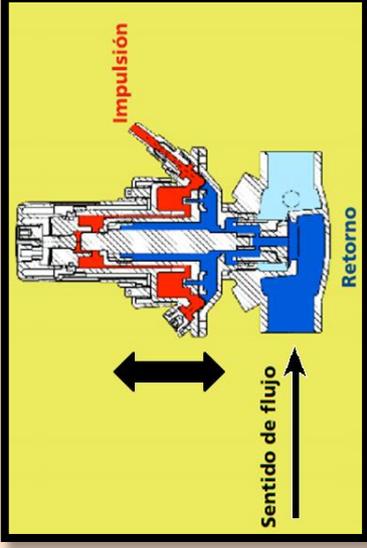
Figura 9.18 – Regulador de presión diferencial

Los reguladores de presión diferencial están formados principalmente por un tubo capilar que interconecta una válvula de control con el regulador de presión (figura 9.18). El tubo dilatador, al estar conectado a la válvula de control, lee su presión y la transmite al regulador. Diferentes presiones en la parte superior o inferior de la membrana del regulador diferencial conducen a un movimiento en el cono de la válvula.

Se recomienda su uso en ramales de distribución, y forman parte esencial del sistema de división en módulos hidráulicos que veremos más adelante.

Los reguladores de presión diferencial mantienen la caída de presión constante regulando el caudal. Se utilizan para absorber el exceso entre la presión diferencial en las tuberías de distribución principal y la presión diferencial a regular en el circuito secundario

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

1	<p>En este caso al ser $p_1 - p_2$ superior al valor de consigna de la válvula, el obturador se desplazará hacia el asiento, lo que hará que aumente la pérdida de presión a través de la válvula.</p>		
2	<p>Si $p_1 - p_2$ es inferior al valor de consigna de la válvula, el obturador se desplazará apartándose de su asiento con el fin de reducir la pérdida de presión a través de la válvula y permitiendo con ello que aumente la presión diferencial hasta alcanzar el valor de consigna.</p>		

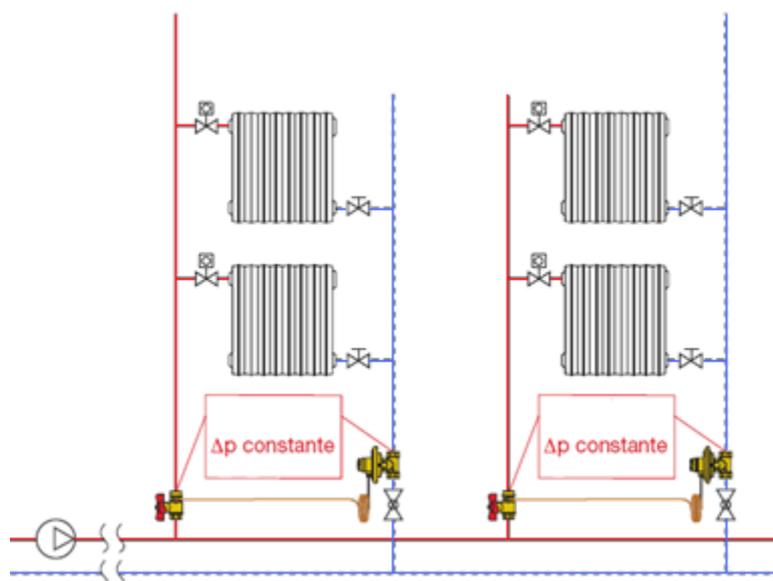
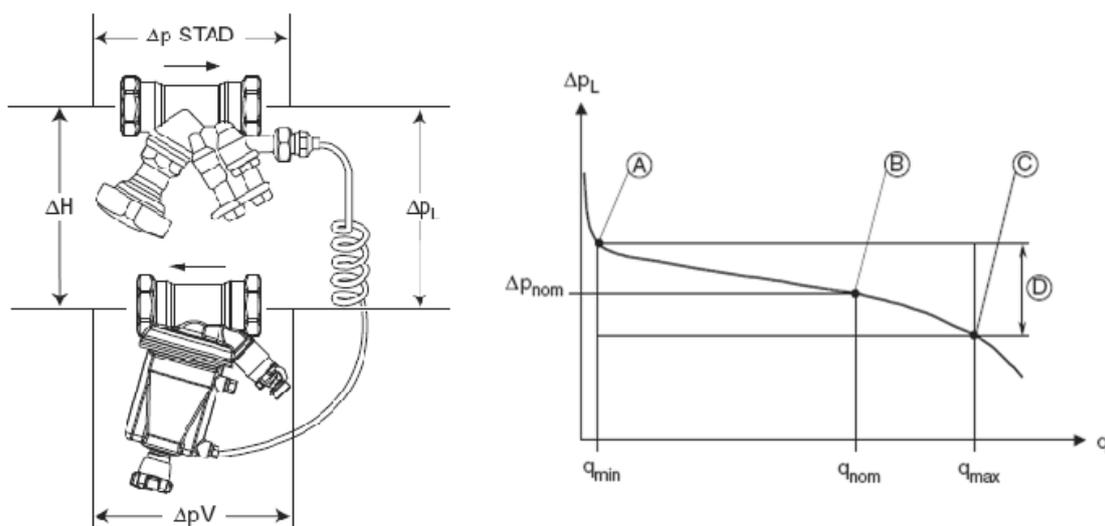
TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Figura 9.19 – Ramales de un sistema de distribución

Problema 9.5 – Selecciona una válvula de regulación de presión diferencial que permita una regulación de presión en el FANCOIL 3 del 20%

A continuación mostramos una gráfica en la que se muestra la relación entre la caída de presión del módulo hidráulico a controlar y el caudal.

Figura 9.20 – Relación Δp - q de una válvula reguladora de presión diferencial

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Donde el punto A corresponde con el valor de $K_{v,min}$, el punto B $K_{v,nom}$ y el punto C $K_{v,max}$ (véase Tema 5.6 – *Características del caudal inherente*). Por último el valor D es rango de variación de presión que la válvula es capaz de controlar.

En nuestro caso, el valor D corresponde con el 20 % de variación de la presión que tiene que regular la válvula. En nuestro caso sabemos que la caída de presión en el módulo es de 43,761 kPa, la válvula debería de controlar el caudal entre 35 y 52,51 kPa. En cualquiera de los casos, el caudal será siempre el mismo, es decir 0,22 l/s, por lo que podemos calcular los valores de $K_{v,min}$ y $K_{v,max}$:

$$K_{v,max} = 0,01 \cdot \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p_{max}}} = 0,01 \cdot \frac{792}{\sqrt{35}} = 1,33 \text{ m}^3/h$$

$$K_{v,min} = 0,01 \cdot \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p_{min}}} = 0,01 \cdot \frac{792}{\sqrt{52,51}} = 1,09 \text{ m}^3/h$$

Con lo que escogiendo una válvula de presión diferencial de DN 20 y con $K_{v,min}$ y $K_{v,max}$ entre los valores establecidos tendríamos cerrado el problema propuesto.

9.3.3 – Equilibrado dinámico**9.3.3.1 – Válvula de equilibrado dinámico**

La válvulas de equilibrado dinámico consiguen un caudal constante en los circuitos hidráulicos mediante un sistema automático que compensa, en todo momento, las variaciones que pudieran existir en la instalación.

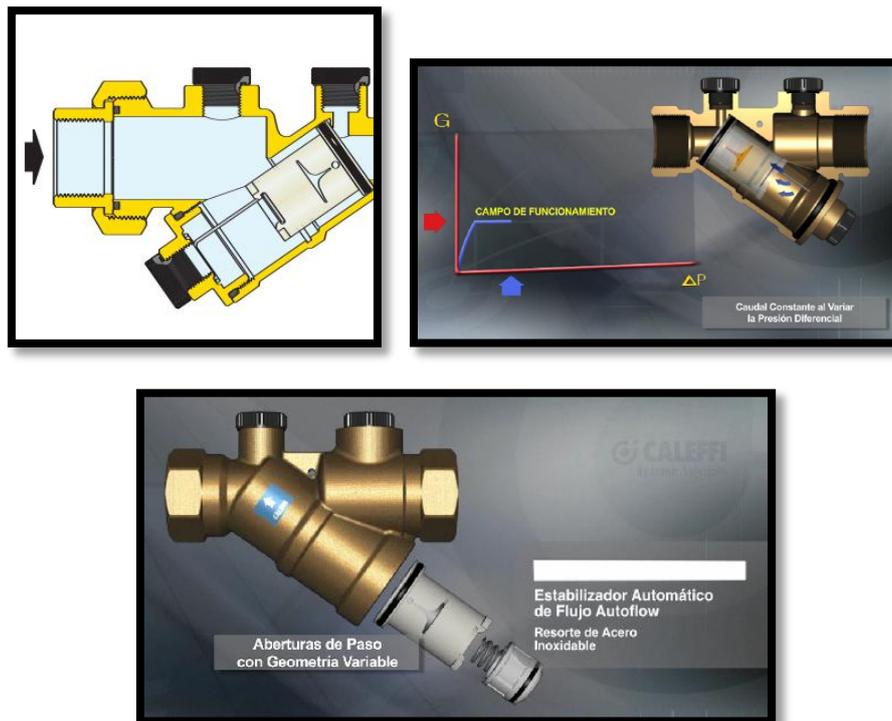
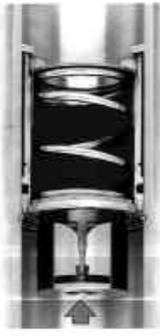
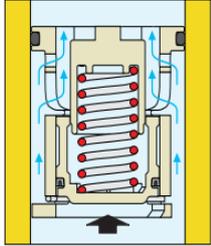
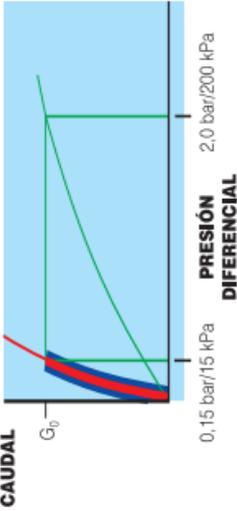
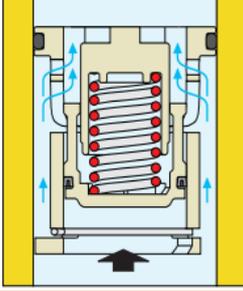
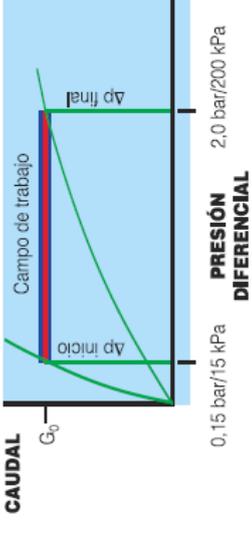
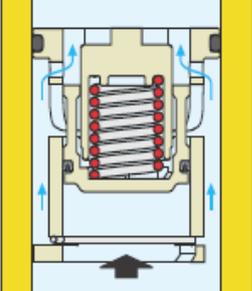
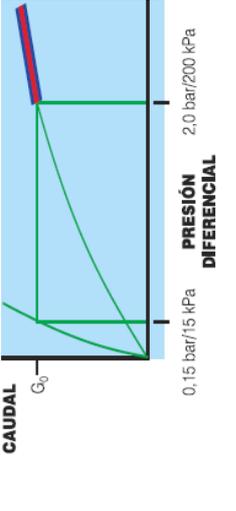


Figura 9.21 – Válvula de equilibrado dinámico

Características generales:

- **Mantienen constante del caudal de proyecto, independientemente del cambio de las condiciones de funcionamiento de las instalación.**
- Ajustan automáticamente las pérdidas de carga necesarias para mantener el caudal constante, incluso con presiones variables.
- Es posible conocer de antemano los caudales reales de trabajo para así poder seleccionar las bombas en su punto óptimo de rendimiento.

TEMA 9: EQUILBRADO HIDRÁULICO

1	<p>En este caso el pistón de regulación permanece en equilibrio sin comprimir el resorte y ofrece al fluido la máxima sección libre de paso. El actúa como un regulador fijo, por lo cual el caudal que atraviesa el cartucho depende sólo de la presión diferencial.</p>			 <p>CAUDAL G_0</p> <p>0,15 bar/15 kPa 2,0 bar/200 kPa</p> <p>PRESIÓN DIFERENCIAL</p> <p>$Kv_{0,01} = 0,258 \cdot G_0$ rango Δp 15–200 kPa donde G_0 = caudal nominal</p>
2	<p>Si la presión diferencial está comprendida en el campo de trabajo, el pistón comprime el resorte y ofrece al fluido la sección de paso necesaria para obtener el caudal nominal para el cual está calibrado.</p>			 <p>CAUDAL G_0</p> <p>0,15 bar/15 kPa 2,0 bar/200 kPa</p> <p>PRESIÓN DIFERENCIAL</p> <p>Campo de trabajo</p> <p>Δp inicio Δp final</p>
3	<p>En estas condiciones, el pistón comprime totalmente el resorte y deja sólo la abertura de geometría fija como vía de paso para el fluido. Como en el primer caso, el pistón actúa como un regulador fijo. El caudal que atraviesa el pistón solo depende de la presión diferencial</p>			 <p>CAUDAL G_0</p> <p>0,15 bar/15 kPa 2,0 bar/200 kPa</p> <p>PRESIÓN DIFERENCIAL</p> <p>$Kv_{0,01} = 0,070 \cdot G_0$ rango Δp 15–200 kPa donde G_0 = caudal nominal</p>

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

El ajuste de un sistema de equilibrado dinámico es sencillo y rápido, prácticamente no existe ningún proceso de puesta en marcha y aporta grandes beneficios. Además, las válvulas de equilibrado dinámico son automáticas ya que varían su Kv en función de la variación de la presión diferencial en la instalación y de esta manera garantizan el caudal de proyecto.

En las válvulas de equilibrado dinámico el elemento fundamental es el cartucho. En función del caudal de proyecto se selecciona el cartucho y es este el encargado de mantener constante el caudal, mientras la presión de la bomba se mantenga dentro del rango de control y la válvula de equilibrado tenga autoridad.



Figura 9.22 – Cartucho de una válvula de equilibrado dinámico

Los beneficios de instalar válvulas de equilibrado dinámico en una instalación de climatización son numerosos. El más importante: no es necesario realizar ningún ajuste en las válvulas de equilibrado, al contrario de lo que ocurre con las válvulas de regulación estáticas. Si se emplean bombas con variador de frecuencia, se puede reducir la velocidad de la bomba en la puesta en marcha, hasta que la presión diferencial en la válvula más desfavorable sea superior que la presión mínima requerida por el cartucho, para que comience a trabajar. En cualquier otra válvula de la instalación, le llegará una presión mínima diferencial mayor y por tanto, se mantendrá el caudal de proyecto. En ese momento, la instalación ya estaría equilibrada, obteniendo el grado de confort deseado con un coste energético de bombeo optimizado y desde luego, sin costes de puesta en marcha ni ajustes de válvulas en la instalación. Una instalación equilibrada dinámicamente puede ser modificada, ampliada o renovada sin que sea necesario realizar ninguna modificación en las válvulas. Sin embargo, en el caso que la instalación esté equilibrada estáticamente, lo anterior implica una modificación en los ajustes de algunas válvulas existentes.

Las válvulas de equilibrado dinámico mantienen el caudal constante siempre que se encuentren funcionando dentro del rango de presiones para el que fue diseñado.

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Problema 9.6 – Selecciona una válvula de regulación dinámica que permita mantener el caudal constante a la entrada del FANCOIL 3 ante variaciones de presión de hasta el 20%

Cuando dimensionamos una válvula de regulación dinámica, lo que realmente estamos seleccionando es el cartucho que contiene. Procedemos de la misma manera que en el problema 9.5, sabiendo que la caída de presión que tenemos a lo largo del módulo hidráulico es de 35,267 kPa. Sin embargo, la selección en este tipo de válvulas es prácticamente inmediata. Necesitamos conocer únicamente el caudal que circula por el módulo, y en segundo lugar, que sobrepasa la mínima caída de presión para funcione correctamente el cartucho.

TIPO 11

Referencia	Caudal l/h	Caudal l/s	Min. ΔP (kPa)	Kv
49-11725	615	0,171	14	1,64
49-11730	670	0,186	14	1,79
49-11735	736	0,204	14	1,97
49-11740	799	0,222	16	2
49-11745	870	0,242	19	2
49-11750	936	0,260	21	2,04

Figura 9.23 – Características del cartucho

Sabiendo que circulan 0,22 l/s por el FANCOIL 3, y que la caída mínima de presión es de 35,267 kPa, seleccionamos el cartucho señalado en la figura 9.23. El límite superior.

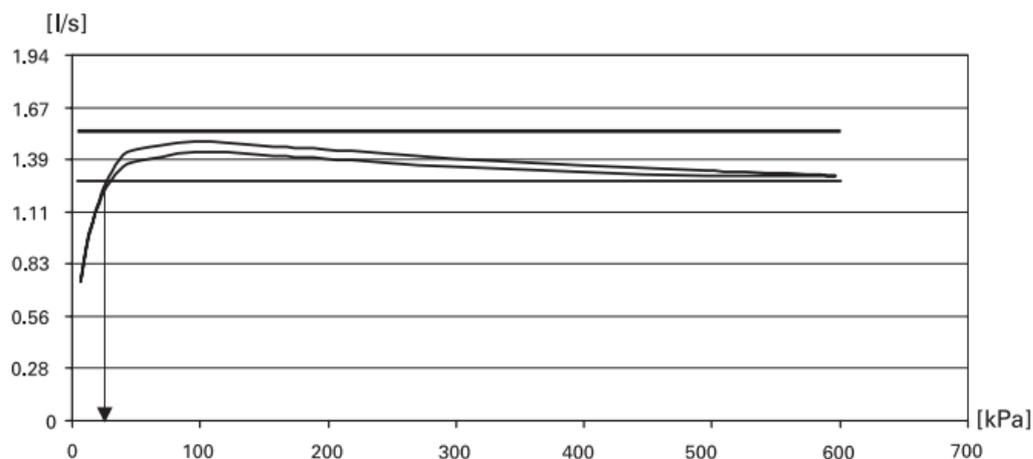


Figura 9.24 – Comportamiento de un cartucho tipo. Límite de presión es de 600 kPa.

9.4 – Descomposición de una red en módulos hidráulicos

En teoría, sería suficiente con una única válvula de equilibrado por unidad terminal para conseguir una correcta repartición de los caudales entre cada uno de los sistemas de distribución. Sin embargo, esto requiere que las válvulas sean seleccionadas con total precisión, y que la instalación se haya diseñado con exactitud.

Cada una de las terminales que aparecen en la figura 8.22 forman un módulo. Una pequeña alteración externa a los módulos crea una variación en la presión diferencial entre A y B. Al depender el caudal de la presión diferencial, los caudales en cada una de las terminales varían en la misma proporción.

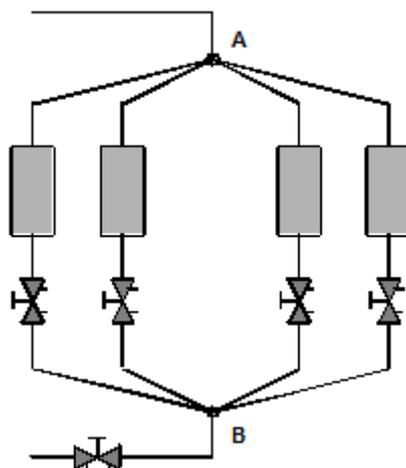


Figura 9.25 – Sistema dividido en módulos hidráulicos

El caudal a través de esos terminales puede ser controlado mediante caudalímetros. Una válvula de equilibrado exterior a A-B puede controlar cualquier perturbación externa manteniendo el caudal en cada uno de los módulos al caudal nominal. Este tipo de válvula se le llama válvula de equilibrado de rama. Una conexión algo más cercada a la realidad que la mostrada en la figura 8.23 se muestra en la siguiente figura.

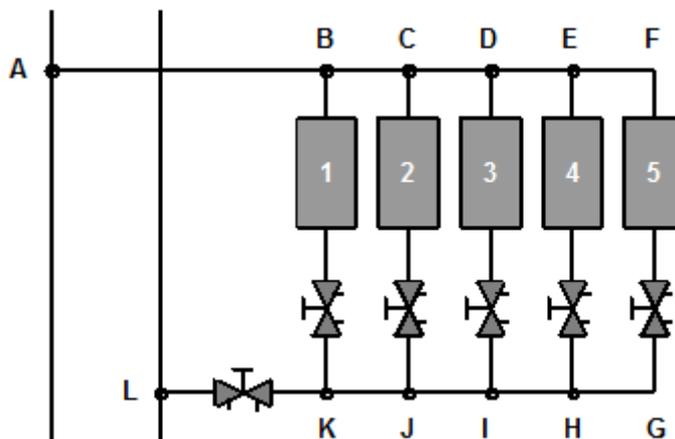


Figura 9.26 - Sistema dividido en módulos hidráulicos real

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO

Veamos que ocurre, si creamos una perturbación en el sistema anterior, interno al módulo hidráulico anteriormente descrito. Esto afectará a los tramos de tubería CD e IJ, y por lo tanto la pérdida de presión en dichas líneas. La presión diferencial entre E y se verá modificada notablemente, y afectará los caudales en las terminales 4 y 5 en la misma proporción. El hecho de que la terminal 3 esté cerrada tiene poco efecto en el caudal total en la línea AB y KL. La pérdida de presión en esas líneas cambia poco. La presión diferencial entre B y K cambia sólo y la terminal 1 no reaccionará a la perturbación de la misma forma que en las unidades terminales 4 y 5. De esta forma, se muestra como una perturbación en el interior de un módulo no afecta al exterior.

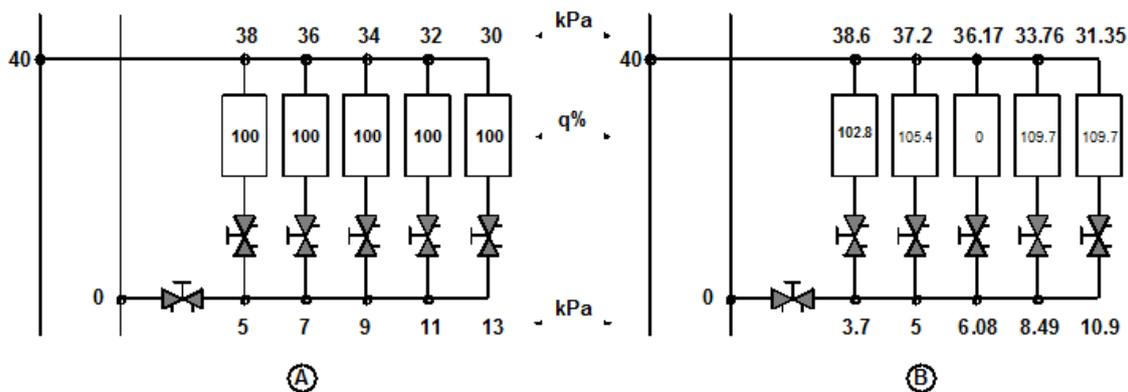


Figura 9.27 – Caso A, módulo trabajando en condiciones nominales y B, con perturbación en el interior

Esto implica que un módulo a su vez, puede formar parte de otros módulos hidráulicos más complejos.

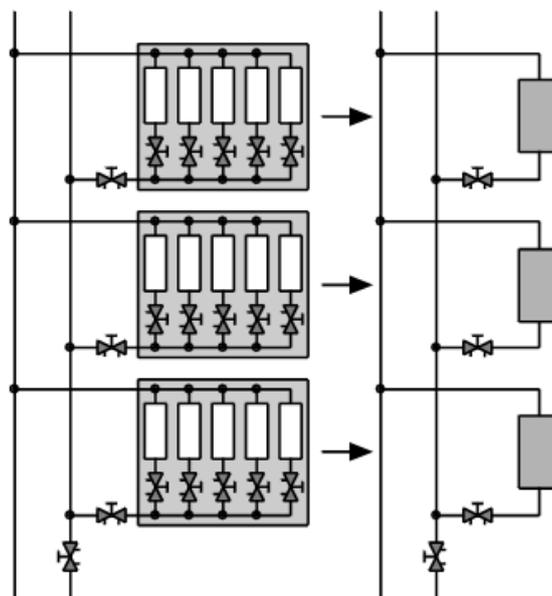


Figura 9.28 – Cada ramal forma un módulo hidráulico independiente

TEMA 9: EQUILIBRADO HIDRÁULICO**9.5 – Síntomas de redes no equilibradas y soluciones más comunes**

SÍNTOMAS	MEDIDAS COMUNMENTE ADOPTADAS PERO INADECUADAS	CAUSAS BASICAS Y GENERALMENTE OBIADAS	SOLUCIONES CORRECTAS	VENTAJAS
Demasiado calor en algunas zonas del edificio, demasiado frío en otras	Aumento de la altura manométrica de la bomba (principal o secundaria)	Sobrecadales en ciertos circuitos que generan subcaudales en otros. Desequilibrios en circuitos aguas abajo del control de Δp	Equilibrar el circuito correctamente	
Largos periodos hasta alcanzar la temperatura ambiente correcta después del periodo de desaceleración nocturna	Incremento de la temperatura de impulsión (calor). Reducción de la temperatura de impulsión (frío). Cancelación del período de desaceleración o parada nocturna. Instalación de calderas o enfriadores adicionales.	Sobrecaudal en algunos circuitos que producen subcaudales en otros. Caudales de distribución superiores a los de producción (incompatibilidad de caudales)	Equilibrar el circuito de distribución mediante válvulas. Compatibilizar los caudales de producción y distribución mediante un correcto equilibrado.	<ul style="list-style-type: none"> • Costes energéticos optimizados. • Caudales verificados. • Posibilidad de medir y registrar caudales, detectando anomalías.
Consumo energético excesivo en bombas		Sobredimensionamiento no detectado en la bomba	Equilibrar la instalación. Reducir la velocidad de la bomba en el tamaño de su rodete o cambiarla por otra. Instalar bombas secundarias para vencer determinadas pérdidas de carga elevadas	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos mínimo de arranque. • Control preciso y estable. • Ruidos atenuados. • Minimizar el consumo energético de bombas
Fluctuación de la temperatura ambiente. Ruidos en las válvulas de control	Modificación del software de control a pesar de tratarse de un problema hidráulico. Sustituir válvulas de control correctamente dimensionadas pero inestables por otras de diámetros más pequeños	Instalación no equilibrada. Insuficiente autoridad en las válvulas de control incorrectos. Parámetros de control incorrectos. Válvulas de control sobredimensionadas o sometidas a Δp variable.	Equilibrar la instalación mediante válvulas equilibrado. Limitar las variaciones de Δp instalando reguladores de presión.	

Figura 9.27 – Soluciones a problemas más comunes en una red hidráulica de climatización