

¿Quiere ahorrar energía? Reduzca la potencia hidráulica

**Rafael Ros Urigüen
Ingeniero Industrial**

SEDICAL, S.A.

1. Introducción
2. ¿Qué es la potencia hidráulica?
3. ¿Qué es el equilibrado automático?
4. Caudal variable en circuito secundario
 - A. Control Todo/Nada en unidades terminales
 - Sólo equilibrado automático con K-Flow motorizados T/N
 - Equilibrado automático con K-Flows motorizados T/N y variación de frecuencia en bomba circuladora a $\Delta P = \text{cte}$ ó ΔP variable
 - B. Control proporcional en unidades terminales
 - Equilibrado automático con K-Flows motorizados proporcionales y variación de frecuencia en bomba circuladora a $\Delta P = \text{cte}$ ó ΔP variable
5. Caudal variable en circuito primario
 - A. Control Todo/Nada en unidades de producción
 - Sólo equilibrado automático con K-Flow motorizados T/N
 - Equilibrado automático con K-Flows motorizados T/N y variación de frecuencia en bomba circuladora a $\Delta P = \text{cte}$.
 - B. Control proporcional en unidades de producción
 - Equilibrado automático con K-Flows motorizados proporcionales y variación de frecuencia en bombas circuladoras a ΔP variable
6. Conclusiones

1. Introducción

En la actualidad se imponen en climatización las instalaciones que ahorran más energía, se realizan de una forma sencilla y resultan más económicas en diseño, ejecución y mantenimiento. Son las que requiere el mercado.

El presente estudio tiene como objeto analizar energéticamente las instalaciones hidráulicas equilibradas de caudal variable mediante válvulas únicas (control y equilibrado) de dos vías y variación de frecuencia en la bomba circuladora tanto en el circuito de distribución (secundario) como en el de producción (primario). Estas instalaciones son las que ahorran más energía y las que se irán imponiendo en nuestro mercado.

2. Qué es la potencia hidráulica

La distribución de la potencia térmica (frío/calor) en los circuitos hidráulicos de una instalación la realizan las bombas circuladoras centrífugas, las cuales consumen una "Potencia eléctrica" (kW_e) debido a que son accionadas por motores eléctricos.

Recordemos que:

$$\text{Potencia} = W = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = \frac{J}{S} = \frac{N \cdot m}{S} = \text{Watio}$$

J = Julio

N = Newton = $1 \text{ kg} \cdot \frac{m}{S^2}$

N = $1 \text{ Pa} \cdot m^2$

En hidráulica:

$$1 \text{ W} = \frac{m^3}{S} \cdot \text{Pa} = Q \cdot \Delta P = \frac{L}{S} \cdot \text{kPa}$$

$$1 \text{ W} = 367 \frac{L}{h} \cdot 1 \text{ mca}$$

$$1 \text{ kW} = 367 \frac{m^3}{h} \cdot 1 \text{ mca}$$

La Potencia hidráulica “ P_h ” es el producto del caudal “ Q ” por la presión diferencial “ ΔP ” (pérdida de carga). Si queremos reducir la potencia hidráulica deberemos actuar sobre el Q y el ΔP .

La potencia hidráulica entregada por las bombas circuladoras a la instalación deberá ser la mínima que garantice los caudales requeridos en todos los elementos.

En climatización consideramos básicamente dos tipos de bombas circuladoras centrífugas en función de cómo realizan la refrigeración de su motor de accionamiento.

- Rotor seco, motor refrigerado por un ventilador acoplado al propio eje del motor en la parte superior.
- Rotor húmedo, motor refrigerado por el fluido que circula la bomba.

En rotor seco la bomba tiene un rendimiento hidráulico η_h , el motor un rendimiento motor η_m y el grupo motobomba un rendimiento global, $\eta_G = \eta_h \cdot \eta_m$

La potencia hidráulica “ $Q \cdot \Delta P$ ” necesaria es siempre mayor que la calculada debido a que la bomba tiene un η_h .

Se considera una potencia necesaria “ P_2 ” en el eje de la bomba para poder dar el Q y el ΔP requerido igual a:

$$P_2 = \frac{P_h}{\eta_h} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_h}$$

La potencia eléctrica consumida por el motor “ P_1 ” es:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m}$$

η_m es un dato que facilita el fabricante del motor.

P_1 es la potencia eléctrica “ kW_e ” absorbida por el motor de la red y es la que pagamos en el recibo de la luz como término de energía “ $kW \cdot h$ ”.

P_N es la potencia nominal del motor eléctrico, potencia máxima disponible en el eje del motor. $P_N \geq P_2$

En rotor húmedo se considera que la bomba y el motor forman un grupo único de rendimiento global η_G .

$$P_1 = \frac{P_h}{\eta_G} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta_G}$$

Tanto en rotor seco como en rotor húmedo, si reducimos la “ P_h ” reducimos “ P_1 ”. Nuestro objetivo para ahorrar energía será reducir la potencia hidráulica.

3. ¿Qué es el equilibrado automático?

El equilibrado automático es un sistema de equilibrado de caudales que se realiza mediante válvulas automáticas limitadoras de caudal. El caudal deseado (constante o variable) es independiente, dentro de un amplio campo de trabajo (rango), de la presión diferencial que soporta la válvula.

En el equilibrado a caudal constante la válvula se selecciona para el caudal deseado y mantendrá este caudal constante siempre que trabaje en los límites de su rango. En climatización, la altura manométrica de la bomba circuladora no suele sobrepasar los 22 mca y se utilizan habitualmente válvulas de rango “2” con un mínimo de presión diferencial de 2 mca y un máximo de 22 mca. Existen cuatro rangos posibles de trabajo con diferentes límites:

Rango 1, de 1 mca a 12 mca

Rango 2, de 2 mca a 22 mca

Rango 3, de 4 mca a 41 mca

Rango 4, de 8 mca a 86 mca

Si tenemos alguna duda respecto al rango, bastaría saber cuál es la altura manométrica de la bomba circuladora y elegir el rango de acuerdo con este valor.

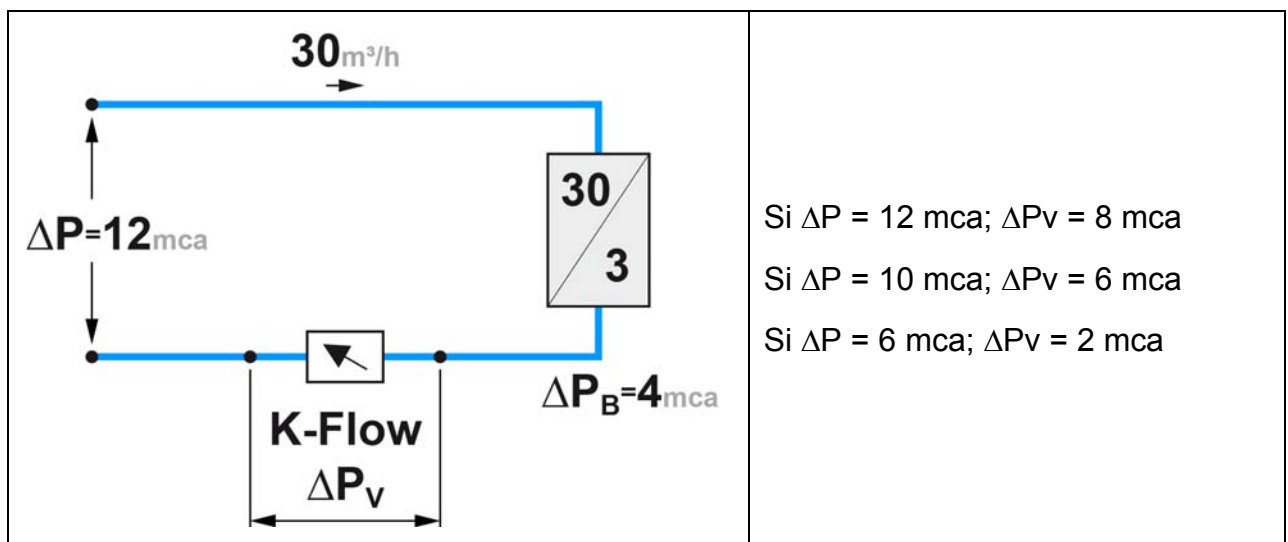
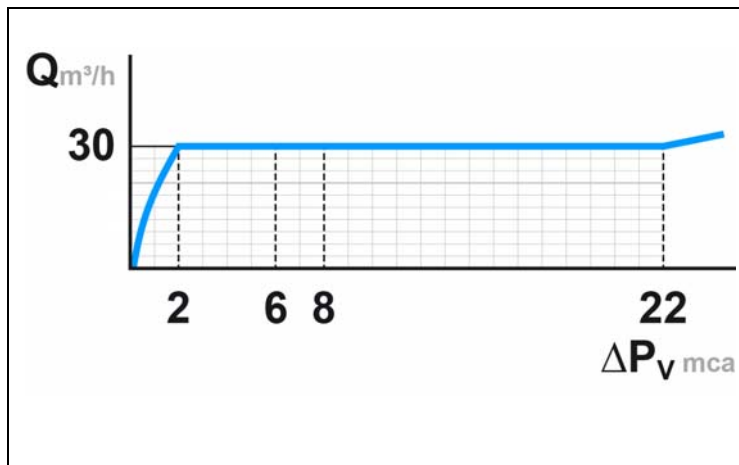
Ejemplo: Equilibrado automático de una batería de climatización a caudal constante.

Caudal deseado: 30 m³/h

Pérdida de carga de la batería = 4 mca para 30 m³/h

Altura manométrica de la bomba circuladora = 18 mca

Rango seleccionado 2



Seleccionamos una válvula K-Flow tipo “K” para 30 m³/h de caudal y rango “2”. Es una válvula mecánica.

En el equilibrado a caudal variable la válvula se selecciona para el 100% del caudal nominal, pero este caudal puede variarse mediante una señal externa de control (0-100%).

A diferencia del K-Flow tipo “K”, es una válvula motorizada que denominamos K-Flow tipo “M”.

Se utiliza en instalaciones de caudal variable en circuitos terminales, con control todo/nada o proporcional en las unidades terminales.

Menor consumo eléctrico en las bombas circuladoras que disminuyen su caudal nominal de acuerdo con las necesidades de la instalación.

Mediante variación de frecuencia, las bombas pueden trabajar, además, a ΔP constante o ΔP variable (descendiente adaptándose a la instalación), consiguiendo un mayor ahorro de energía.

Sustituyen completamente a las válvulas de control de dos vías ya que también realizan el control de temperatura.

El K-Flow “M” realiza las dos funciones de equilibrado y control en una única válvula.

Este tipo de válvulas motorizadas son muy adecuadas para trabajar a caudal variable en la bomba circuladora.

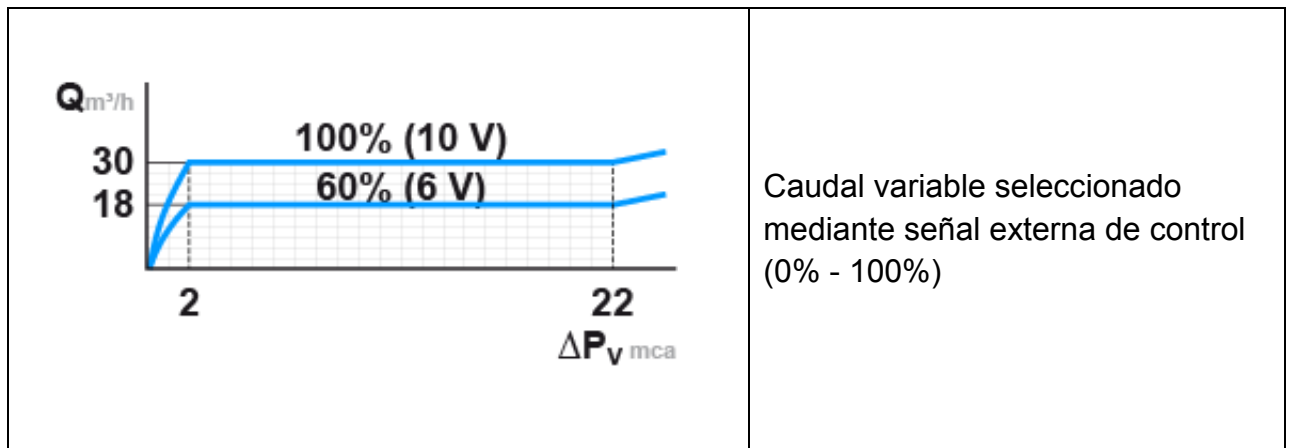
Ejemplo: Equilibrado automático de una batería de climatización a caudal variable.

Caudal nominal (100%) = 30 m³/h

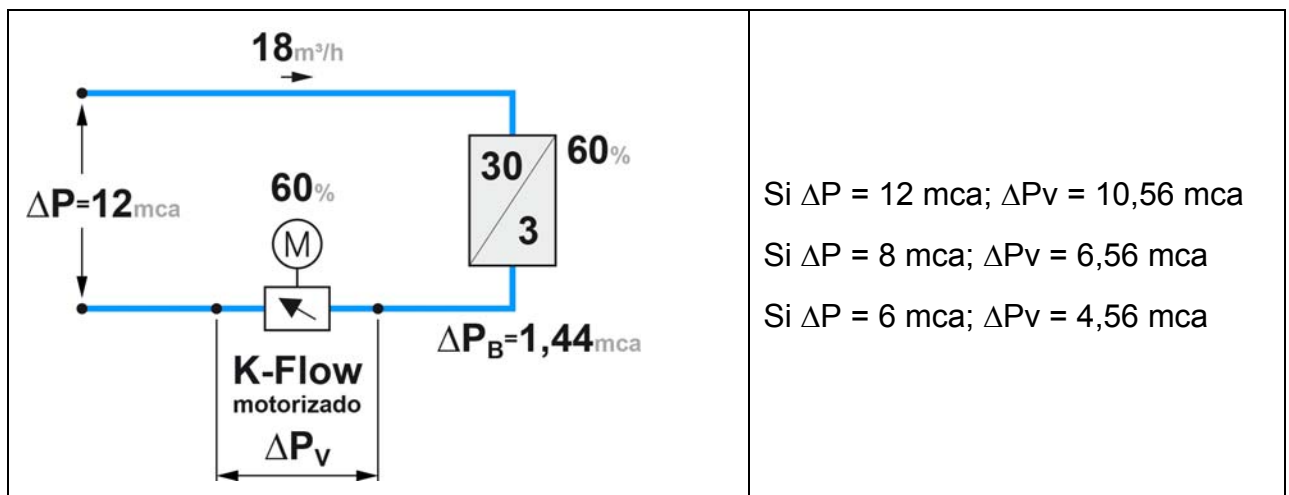
Pérdida de carga de la batería = 4 mca a 30 m³/h

Altura manométrica de la bomba circuladora = 18 mca

Rango seleccionado 2



En nuestro ejemplo, la válvula recibe una señal externa de control de 6 V (60%) que equivale a 18 m³/h de caudal



Seleccionamos una válvula K-Flow tipo “M” para un caudal nominal de 30 m³/h (100%) y rango “2”. Es una válvula motorizada.

4. Caudal variable en circuito secundario

Cuando decimos “caudal variable” nos referimos a que la bomba circuladora va a trabajar a caudal variable y va a reducir su potencia hidráulica de acuerdo con las necesidades de la instalación.

Supongamos el siguiente ejemplo de distribución de caudales en cuatro circuitos hidráulicos.

Datos de partida:

Esquema 1

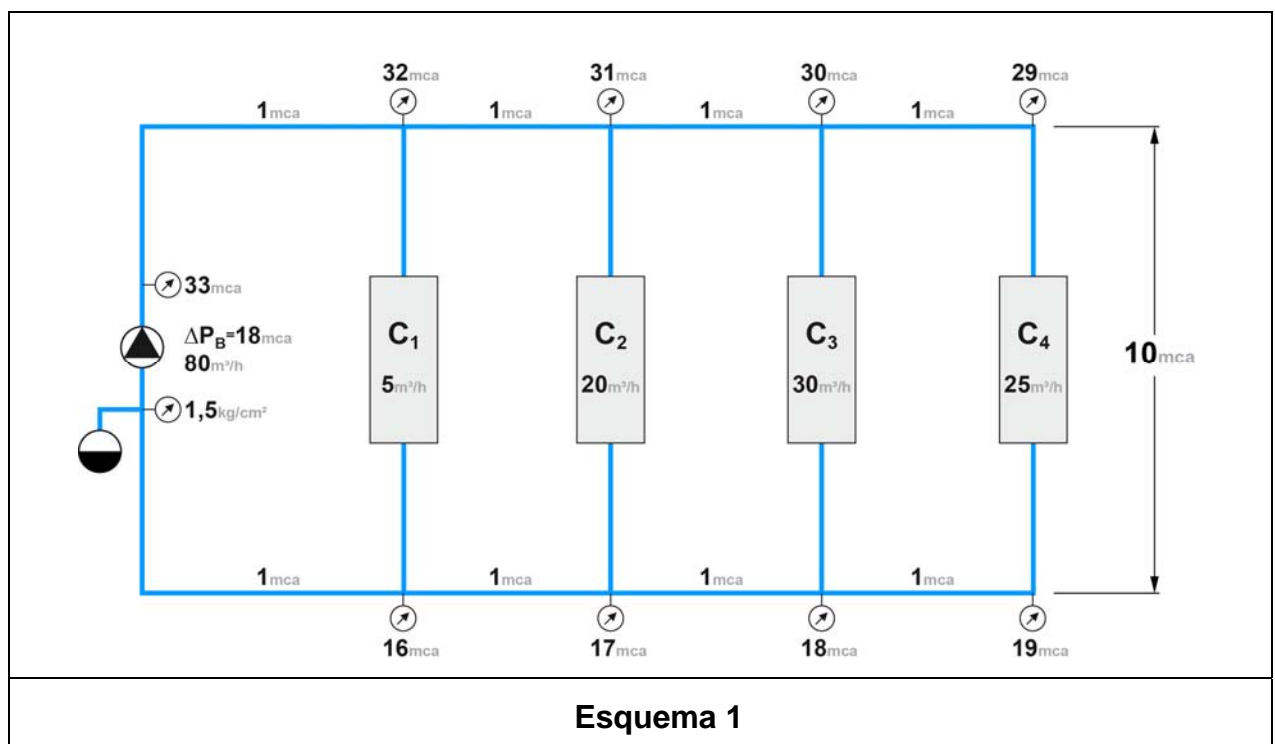
Bomba circuladora SIM 125/290 – 5,5 / K rodete 282

$Q = 80 \text{ m}^3/\text{h}$

$\Delta P = 18 \text{ mca} = \text{Altura manométrica}$

Cuatro circuitos. Caudales ; $C_1 = 5 \text{ m}^3/\text{h}$; $C_2 = 20 \text{ m}^3/\text{h}$; $C_3 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$; $C_4 = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ y misma pérdida de carga = 4 mca en sus baterías de climatización.

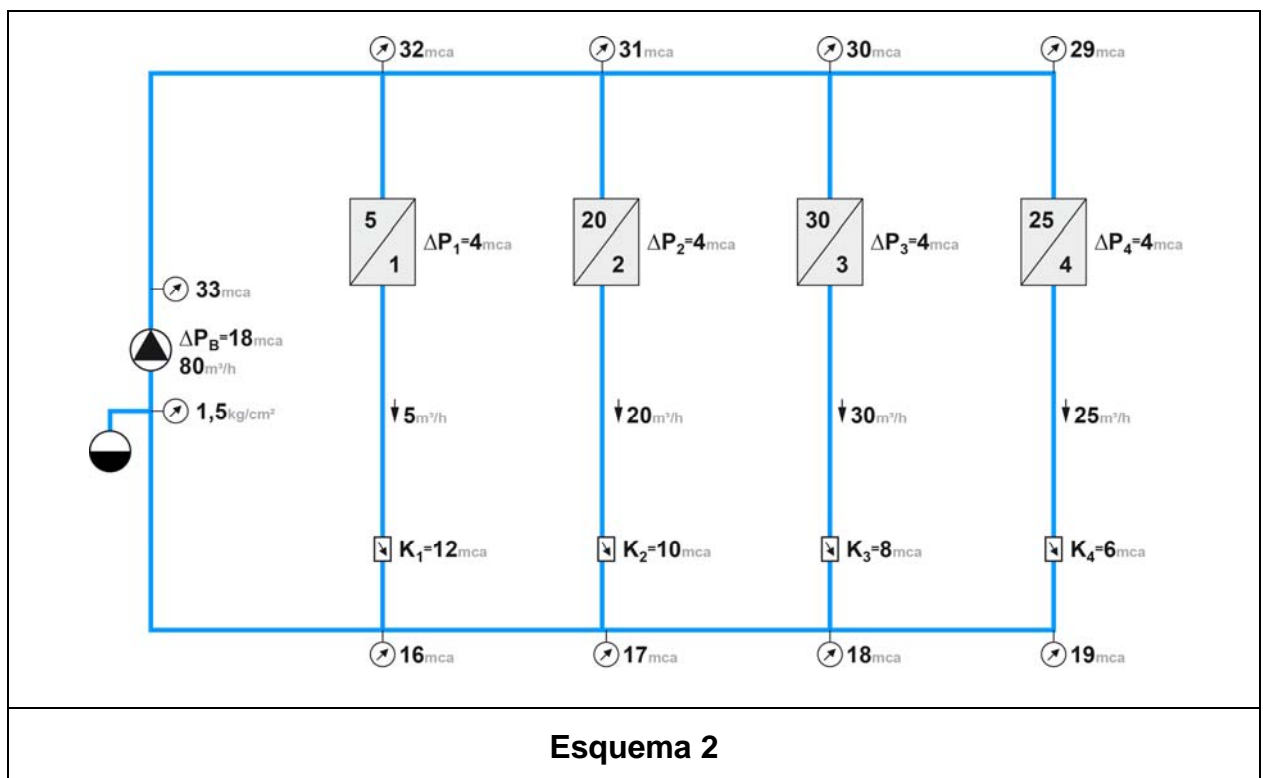
En esta situación circulará en cada circuito un caudal de agua distinto al deseado. En los circuitos con menor pérdida de carga más próximos a la bomba, aumentará el caudal y en los circuitos más alejados, disminuirá el caudal. Si queremos garantizar los caudales debemos necesariamente equilibrar.



En el **esquema 2** hemos equilibrado los circuitos con K-Flow “K” de caudal constante, tendríamos una instalación equilibrada trabajando a caudal constante = $80\text{m}^3/\text{h}$ y $\Delta P = 18\text{ mca}$.

Los datos de la bomba en este punto de funcionamiento son:

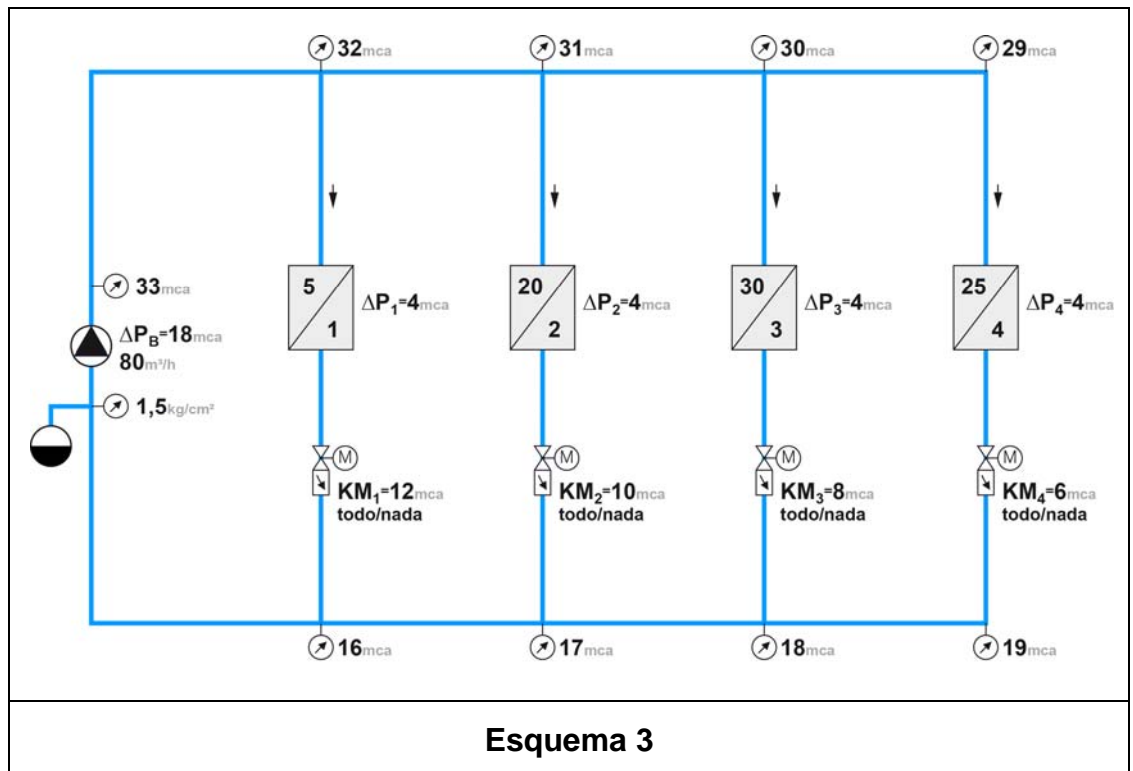
$$\left. \begin{array}{l} \eta_h = 65\% \\ \eta_m = 87\% \\ \eta_G = 56\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 6,06\text{ Kw} \\ P_1 = 6,97\text{ kW}_e \end{array}$$



A. Control Todo/Nada en unidades terminales

- Solo equilibrado automático con K-Flow motorizado T/N

La sustitución en el **esquema 3** de los K-Flow “K” por K-Flow motorizados “KM” todo/nada nos va a permitir trabajar a caudal variable y ahorrar energía.



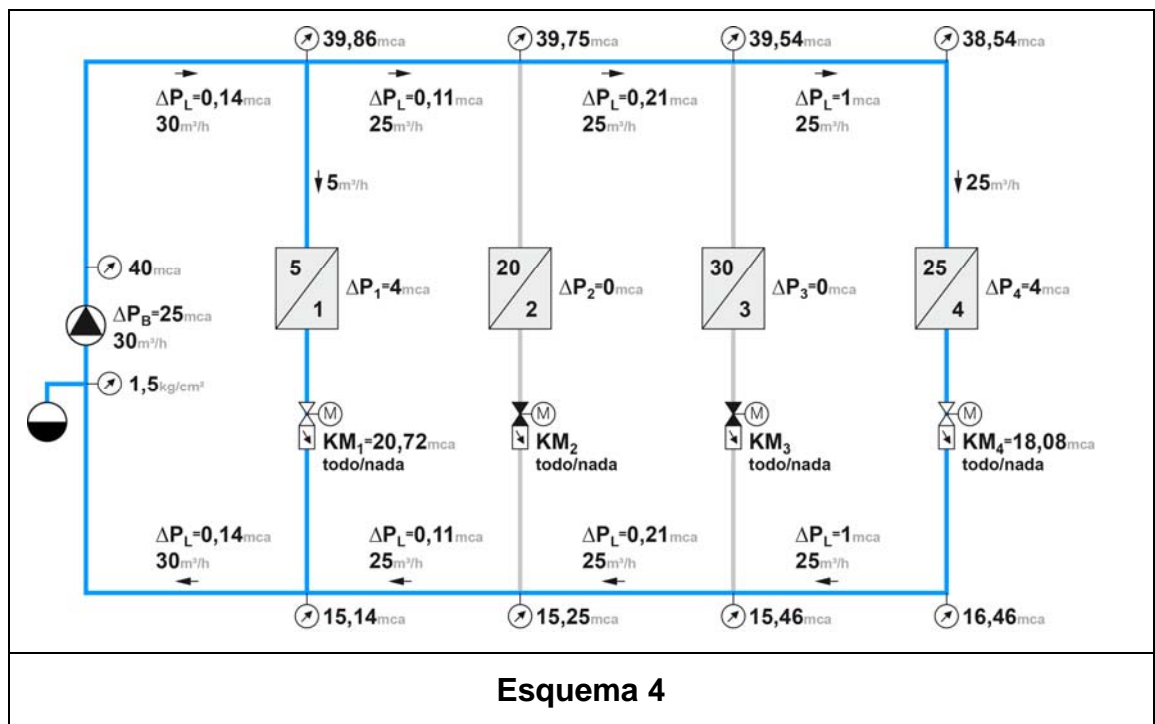
Supongamos que por los circuitos C_2 y C_3 no hay circulación. Las válvulas “ KM_2 ” y “ KM_3 ” han recibido una señal externa de control que las han cerrado.

La bomba trabajará en su curva característica a

$Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$ y $\Delta P = 25 \text{ mca}$ con $P_2 = 4,1 \text{ kW}$ y $P_1 = 4,71 \text{ kW}_e$,

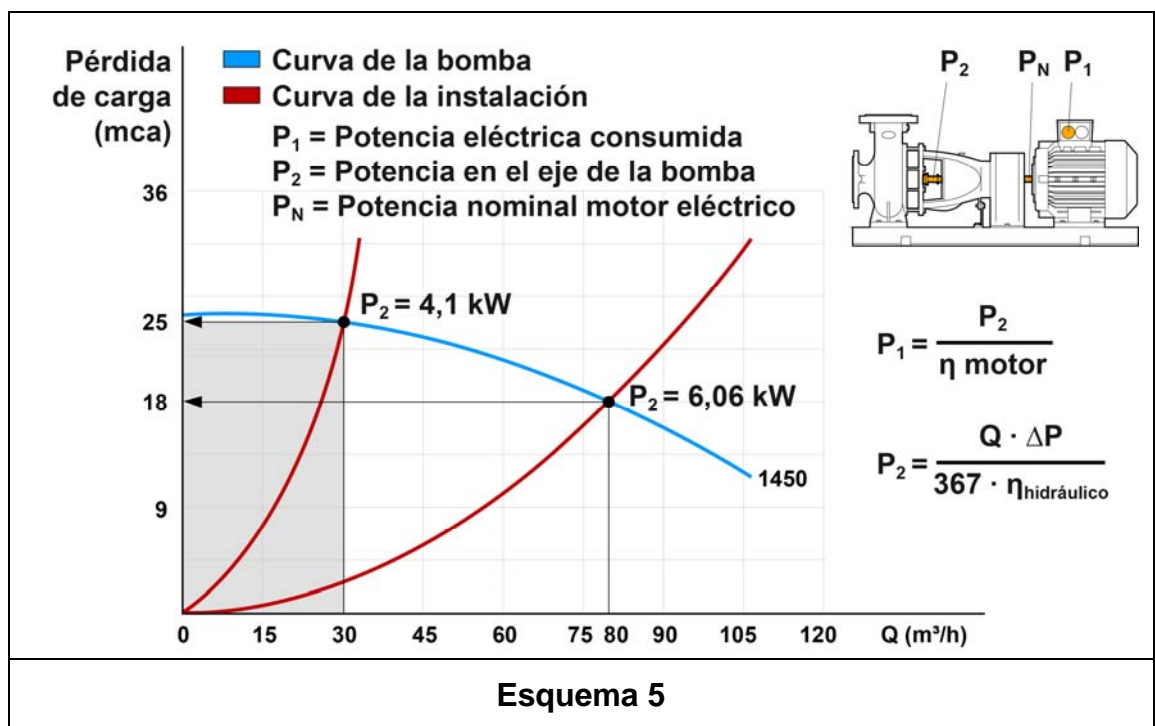
habiéndose reducido el consumo eléctrico de $6,97 \text{ kW}_e$ a $4,71 \text{ kW}_e$.

En el **esquema 4** vemos la evolución del sistema



En el **esquema 5** vemos la nueva posición de la bomba y las diferentes potencias relacionadas P_1 , P_2 y P_N .

Las válvulas “KM” son válvulas motorizadas de dos vías que trabajan 100% abiertas o 0% cerradas de acuerdo con una señal externa de control.



- **Equilibrado automático con K-Flow motorizado T/N y variación de frecuencia en bomba circuladora a ΔP constante o ΔP variable.**

Si queremos reducir más el consumo eléctrico debemos de actuar sobre ΔP , modificando la curva característica de la bomba circuladora mediante variación de frecuencia.

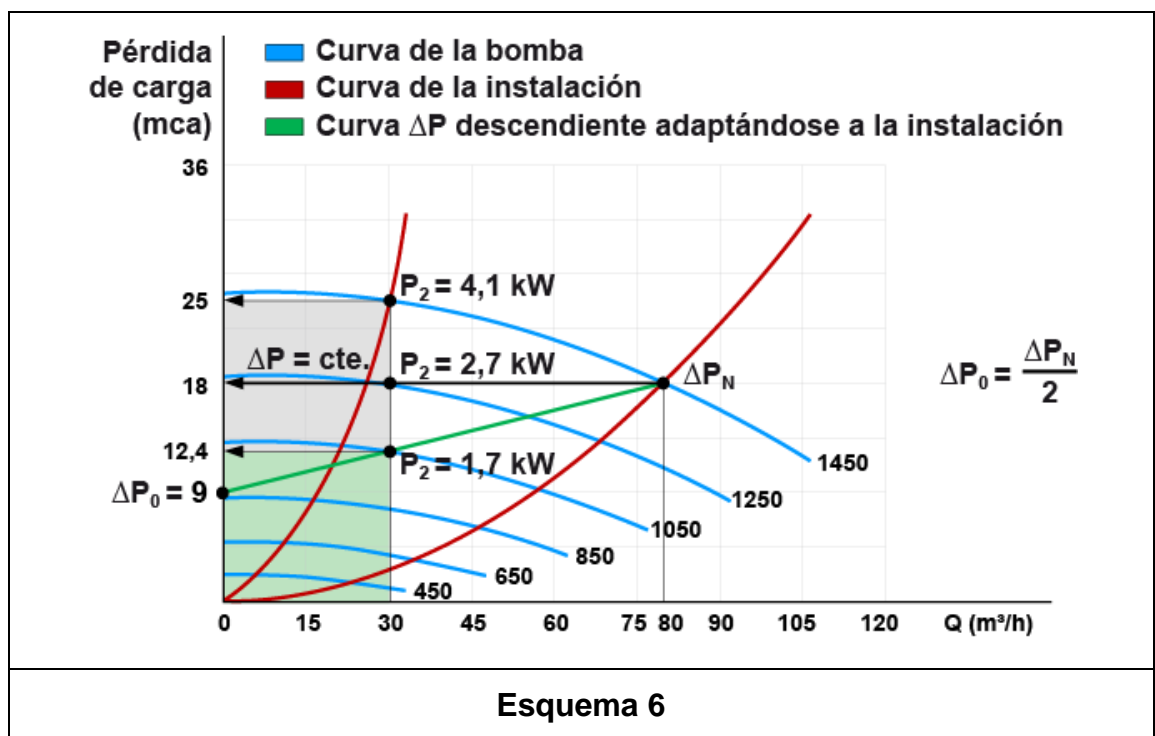
Vamos a considerar sólo el funcionamiento de la bomba circuladora con variación de frecuencia a ΔP constante y ΔP variable.

En nuestro caso, con $\Delta P_{\text{constante}} = 18 \text{ mca}$ y $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ tenemos un $P_2 = 2,7 \text{ kW}$ y $P_1 = 3,10 \text{ kW}_e$. Hemos vuelto a reducir el consumo eléctrico.

Se puede reducir aún más el consumo eléctrico trabajando a ΔP variable, descendiente adaptándose a la instalación.

En nuestro caso, con $\Delta P = 12,4 \text{ mca}$ y $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ tenemos un $P_2 = 1,7 \text{ kW}$ y $P_1 = 1,95 \text{ kW}_e$.

En el **esquema 6** están reflejados los diferentes modos de funcionamiento con sus potencias correspondientes.



B. Control proporcional en unidades terminales

- **Equilibrado automático con K-Flow motorizados proporcionales y variación de frecuencia en bomba circuladora a ΔP constante o ΔP variable.**

Los K-Flow motorizados "SM" son válvulas combinadas de control y equilibrado.

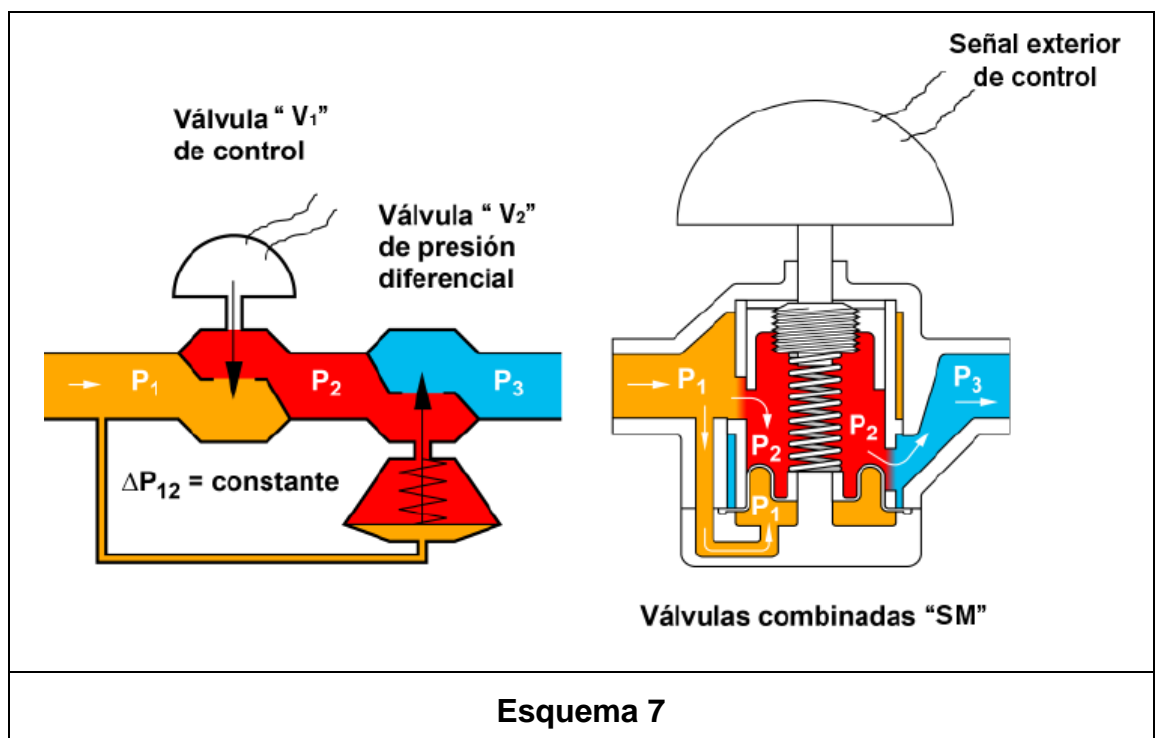
La válvula "SM" está formada por dos válvulas V_1 y V_2 que actúan simultáneamente.

V_1 es la válvula de control proporcional, regula el caudal de forma directa en función de una señal exterior de control.

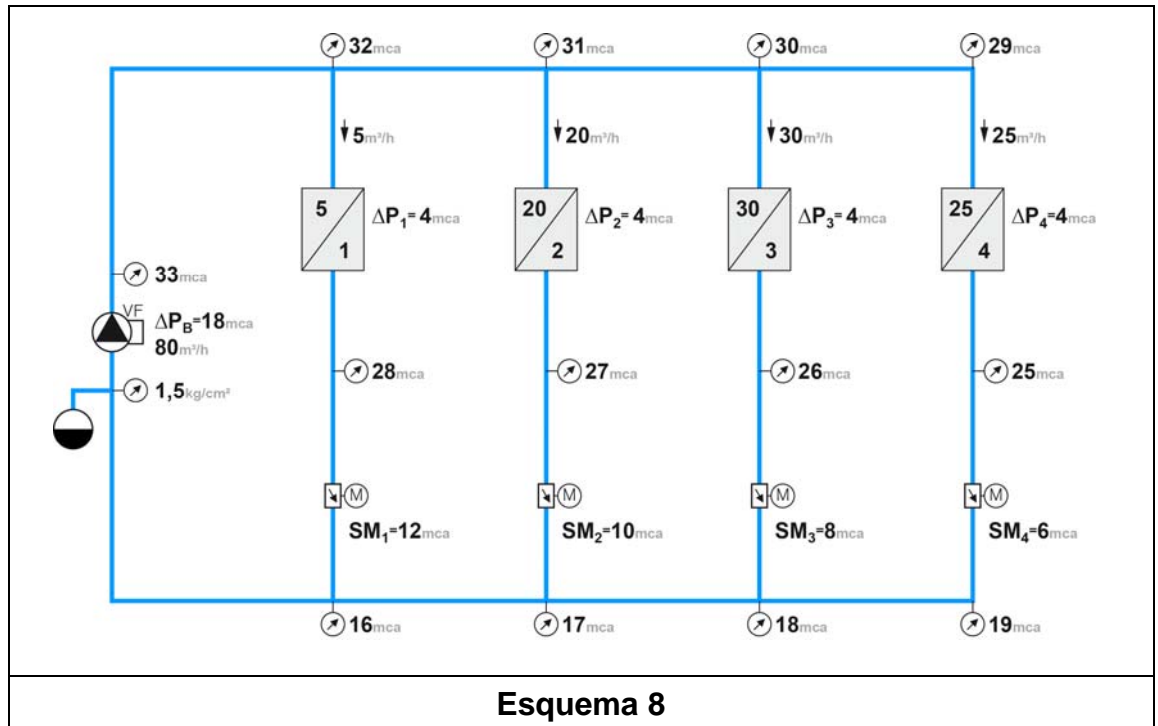
V_2 es la válvula reguladora de presión diferencial, mantiene constante la presión diferencial en V_1 , dentro de su rango de funcionamiento.

Se obtiene así un control estable, preciso y sin fluctuaciones.

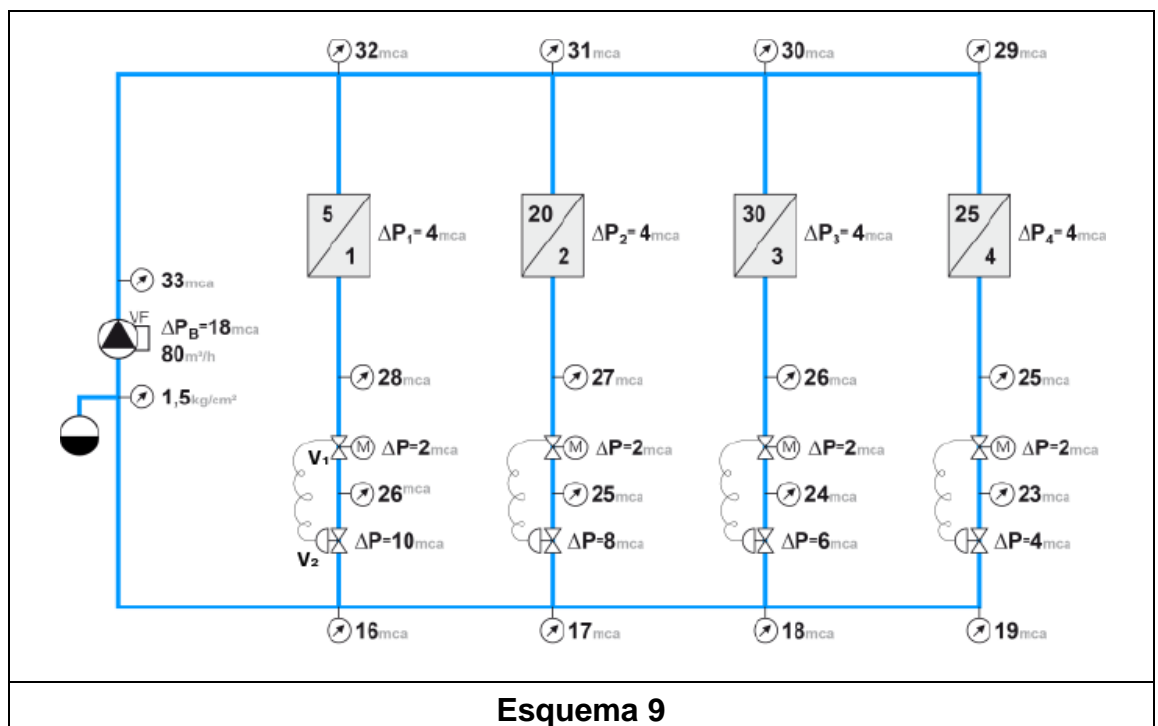
En el **esquema 7** vemos el funcionamiento de la válvula "SM".



En el **esquema 8** hemos sustituido las válvulas “KM” (T/N) por las válvulas “SM” (proporcionales) y hemos provisto a la bomba circuladora de un variador de frecuencia “VF”.



En el **esquema 9** hemos sustituido la válvula “SM” por la válvula V_1 y V_2 para ver la variación de la presión, mediante lecturas manométricas, en ambas válvulas.



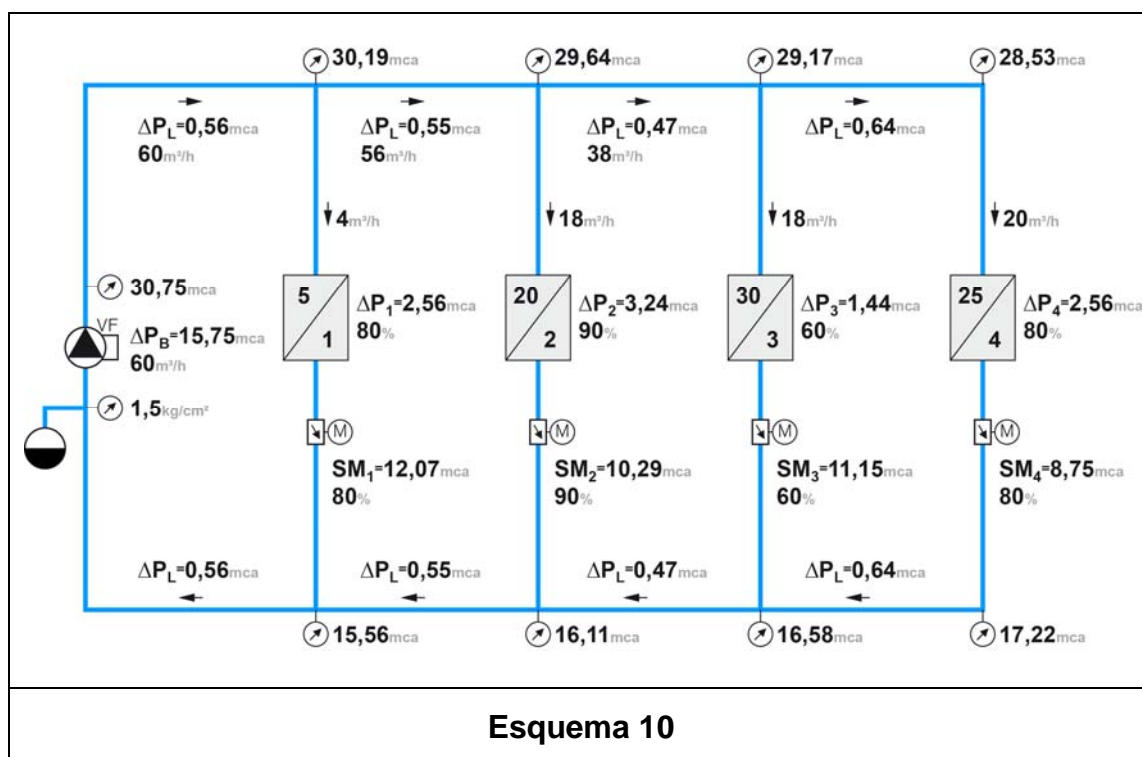
Supongamos que mediante un control exterior queremos modificar los caudales de los cuatro circuitos.

Por ejemplo:

- $C_1 = 4 \text{ m}^3/\text{h} \dots\dots\dots 80\%$
- $C_2 = 18 \text{ m}^3/\text{h} \dots\dots\dots 90\%$
- $C_3 = 18 \text{ m}^3/\text{h} \dots\dots\dots 60\%$
- $C_4 = 20 \text{ m}^3/\text{h} \dots\dots\dots 80\%$

El caudal total en la bomba circuladora es de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ y la altura manométrica será a $\Delta P = \text{constante} = 18 \text{ mca}$ y a $\Delta P = \text{variable}$, descendiente adaptándose a la instalación = $15,75 \text{ mca}$.

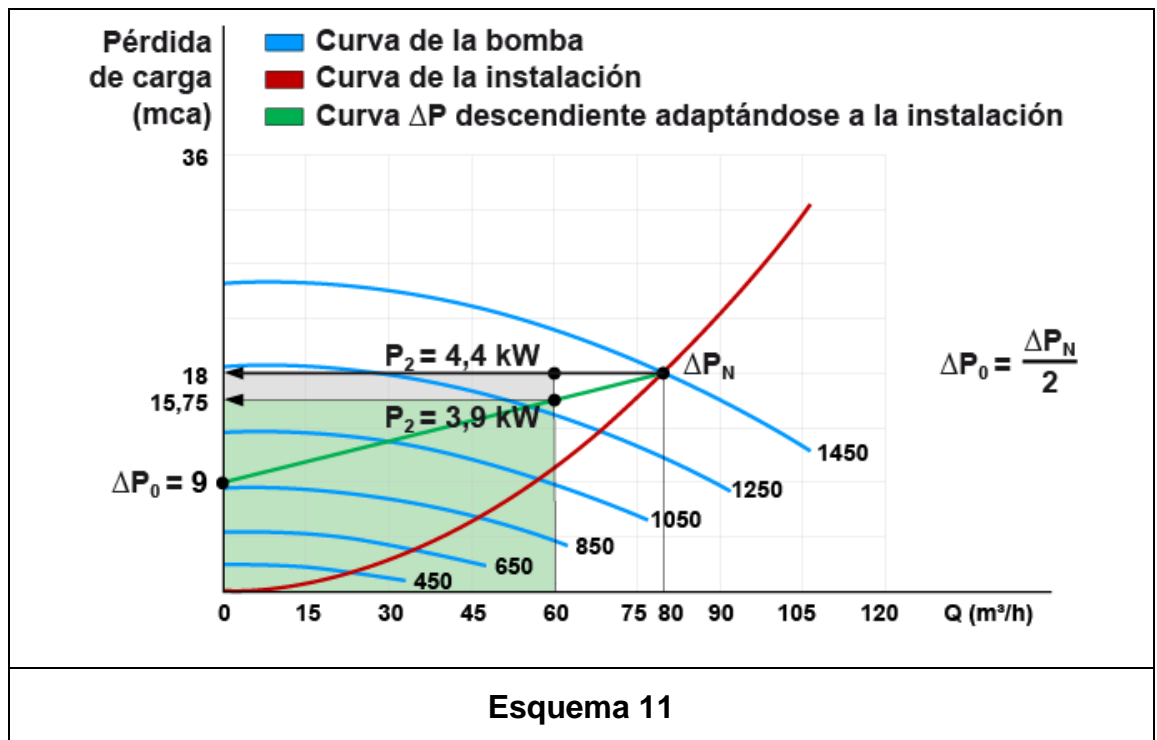
En el **esquema 10** queda reflejado el funcionamiento con la bomba circuladora a $60 \text{ m}^3/\text{h}$ y $\Delta P = 15,75 \text{ mca}$.



En el **esquema 11** tenemos las potencias P_2 para el caudal de $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

A $\Delta P = 18 \text{ mca} = \text{constante}$; $P_2 = 4,4 \text{ kW}$, $P_1 = 5,05 \text{ kW}_e$.

A $\Delta P = 15,75 \text{ mca}$; $P_2 = 3,9 \text{ kW}$, $P_1 = 4,48 \text{ kW}_e$.

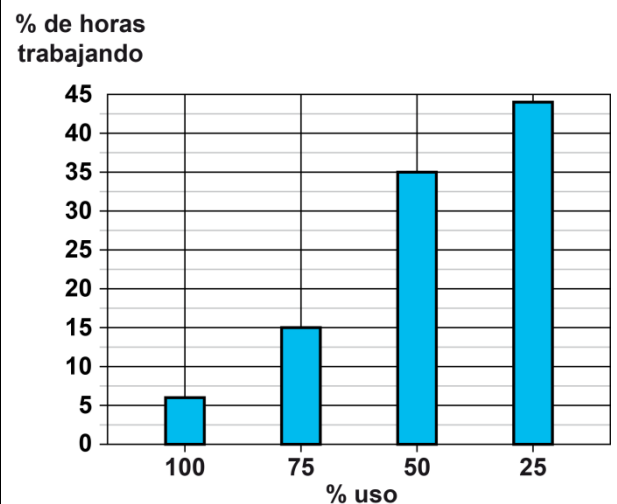


Estos cálculos se han realizado tanto en A como en B para una bomba de 80 m³/h y $\Delta P = 18$ mca que variaba su caudal en A a 30 m³/h con control todo/nada y en B a 60 m³/h con control proporcional.

Si utilizamos el perfil de carga normalizado “Ángel Azul”

Perfil de carga. Normalizado “Ángel Azul”

Caudal	Periodo	Número de horas
100%	6%	525,6 h
75%	15%	1314 h
50%	35%	3066 h
25%	44%	3854,4 h
		8760,0 h



Para la misma bomba de 80 m³/h y $\Delta P = 18$ mca, obtenemos los siguientes resultados de energía consumida y energía ahorrada. Programa de selección de bombas circulatoras y ahorro de energía de SEDICAL, S.A.

Sistema	Caudal constante	Caudal variable, sólo equilibrado automático	Caudal variable con ΔP constante	Caudal variable con ΔP variable
Energía consumida	61051,09 kW.h	43451,09 kW.h	31686,77 kW.h	23134,53 kW.h
Energía ahorrada		17600,00 kW.h	29364,32 kW.h	37916,55 kW.h

5. Caudal variable en circuito primario

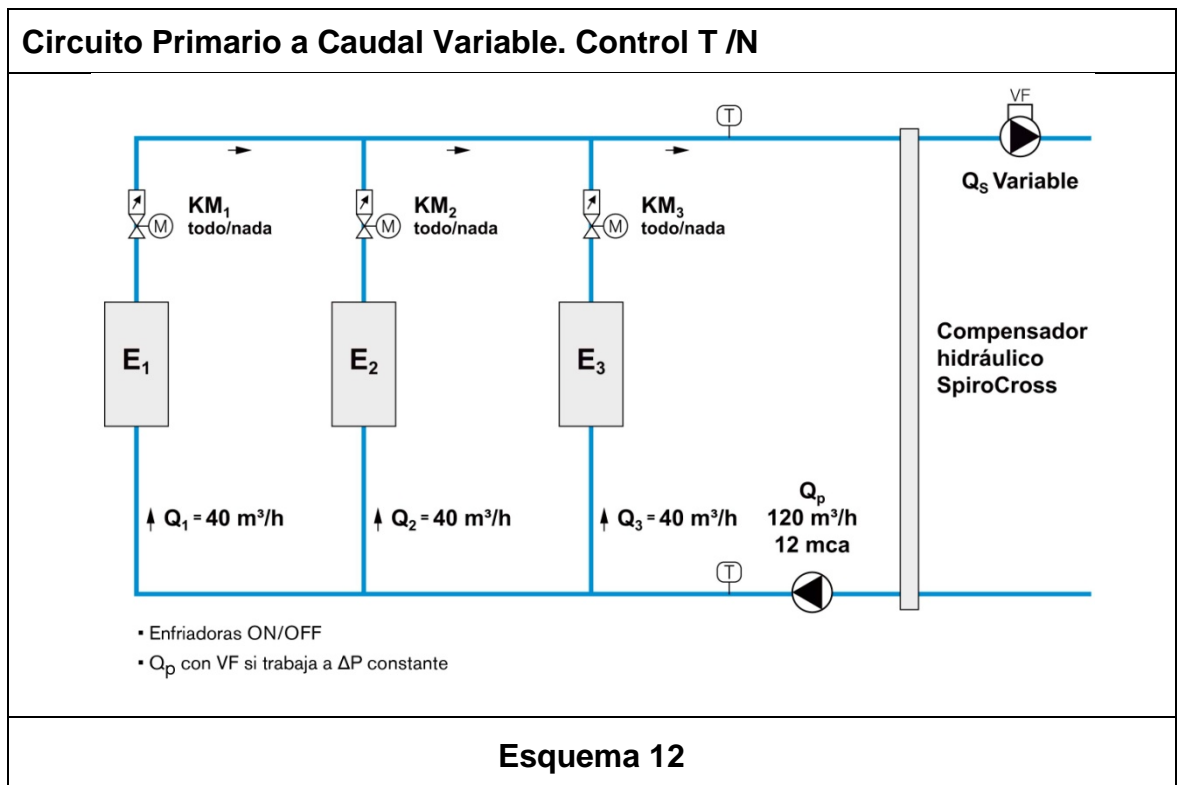
Habitualmente, en el circuito primario de producción se trabaja a caudal constante debido a que las unidades de producción (enfriadoras, bombas de calor, calderas...) tienen su mejor rendimiento térmico cuando trabajan a los caudales nominales determinados por el fabricante.

Los intercambiadores de calor (evaporador, condensador...) tienen siempre un límite de caudal mínimo por debajo del cual NO hay transferencia de calor. En un intercambiador de calor de placas el límite inferior de caudal es del orden del 20% del caudal nominal.

Supongamos el siguiente ejemplo de producción mediante 3 enfriadoras iguales E_1 , E_2 y E_3 de 232 kW con caudal nominal de $40 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta P = 6 \text{ mca}$ y $\Delta t = 5^\circ\text{C}$.

A. Control Todo/Nada en unidades de producción

En el **esquema 12** las enfriadoras trabajan ON/OFF en función de un control de temperaturas y una secuencia determinada.



Utilizamos una única bomba circuladora para las tres enfriadoras.

Bomba circuladora SIM 125/290-5,5/K rodete 225

$Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$

$\Delta P = 12 \text{ mca} = \text{Altura manométrica}$

Hemos equilibrado la instalación con tres K-Flow motorizados “KM” de caudal unitario $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Los datos de la bomba en este punto de funcionamiento ($120 \text{ m}^3/\text{h}$, 12 mca), son:

$$\left. \begin{array}{l} \eta_h = 72\% \\ \eta_m = 86\% \\ \eta_G = 62\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 5,4 \text{ Kw} \\ P_1 = 6,28 \text{ kW}_e \end{array}$$

- **Sólo equilibrado automático con K-Flow motorizados T/N**

La utilización de K-Flow “KM” nos va a permitir trabajar a caudal variable y ahorrar energía. Recordemos que la bomba circuladora va a trabajar en su curva característica.

Supongamos que el control pone en OFF a la enfriadora E_3 . El nuevo punto de trabajo de la bomba será:

$$\left. \begin{array}{l} Q = Q_1 + Q_2 = 80 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta P = 14,8 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 4,7 \text{ Kw} \\ P_1 = 5,46 \text{ kW}_e \end{array}$$

Hemos reducido el consumo eléctrico de $6,28 \text{ kW}_e$ a $5,46 \text{ kW}_e$.

Supongamos que E_2 y E_3 están en OFF. El nuevo punto de trabajo será:

$$\left. \begin{array}{l} Q = Q_1 = 40 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta P = 16,2 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 3,5 \text{ Kw} \\ P_1 = 4,06 \text{ kW}_e \end{array}$$

Hemos vuelto a reducir el consumo eléctrico.

- **Equilibrado automático con K-Flow motorizados T/N y variación de frecuencia en la bomba circuladora a $\Delta P = cte.$**

Podemos reducir más el consumo eléctrico actuando sobre ΔP de la bomba modificando su curva característica mediante variación de frecuencia.

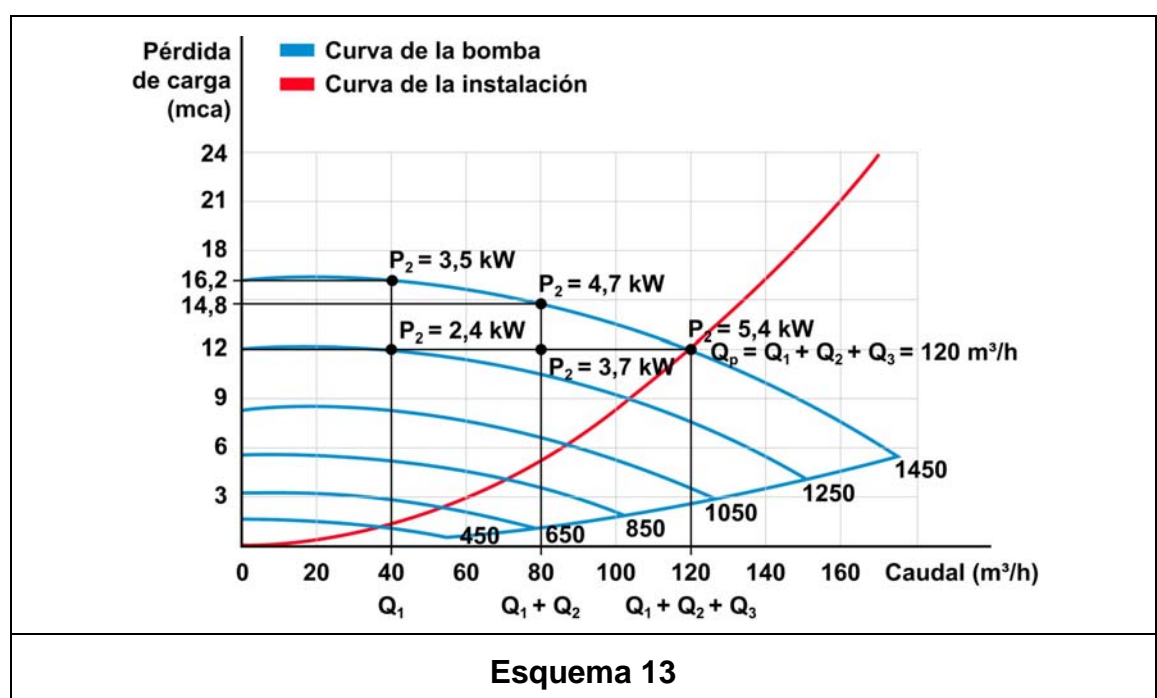
Con ΔP constante = 12 mca, tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} Q = Q_1 + Q_2 = 80 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta P = 12 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 3,7 \text{ Kw} \\ P_1 = 4,3 \text{ kW}_e \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q = Q_1 = 40 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta P = 12 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 2,4 \text{ Kw} \\ P_1 = 2,79 \text{ kW}_e \end{array}$$

En el **esquema 13** están reflejadas las potencias correspondientes a las dos formas de trabajo consideradas.

Habitualmente, las enfriadoras están situadas en una única central térmica a poca distancia una de la otra. Las pérdidas en las tuberías de conexionado entre ellas son pequeñas. Se trabaja “casi” a ΔP constante. No hemos estudiado el funcionamiento a ΔP variable que se podía haber realizado procediendo de la misma forma que en el circuito primario de distribución



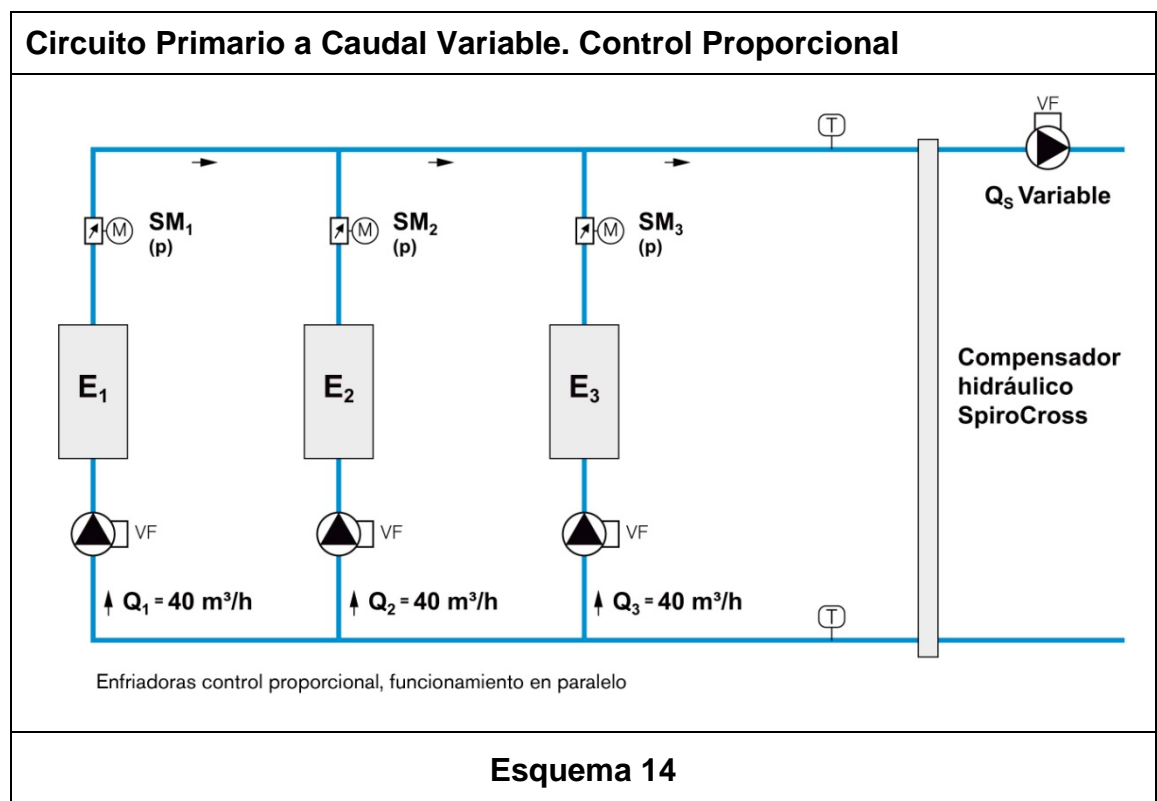
B. Control proporcional en unidades de producción

- **Equilibrado automático con K-Flows motorizados proporcionales y variación de frecuencia en bombas circuladoras a ΔP variable.**

Utilizamos K-Flows motorizados proporcionales (p) del tipo “SM” cuyo funcionamiento ya hemos explicado y una bomba de caudal variable con variador de frecuencia por enfriadora.

En nuestro ejemplo las tres enfriadoras son iguales.

En el **esquema 14** queda reflejados los elementos de la instalación.



Los datos de cada bomba en el punto de funcionamiento nominal (40 m³/h, 12 mca) son:

Bomba circuladora: SIM 80/270.1 – 2.2 / K, rodete 216.

$$\left. \begin{array}{l} \eta_h = 66\% \\ \eta_m = 81\% \\ \eta_G = 53\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 1,97 \text{ Kw} \\ P_1 = 2,43 \text{ kW}_e \end{array}$$

Las enfriadoras van a trabajar proporcionalmente desde un 100% de su capacidad hasta un mínimo que indicará el fabricante de la enfriadora. Supongamos que es el 50%, es decir, 20 m³/h.

Es decir, las tres enfriadoras van a trabajar en paralelo con la misma carga desde un 100% hasta un 50 %.

Si realizamos una variación de frecuencia con ΔP variable descendiente adaptándose a la instalación, tendremos que para el funcionamiento al 50% los datos de la bomba serán:

$$\left. \begin{array}{l} Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} \\ \Delta P = 9 \text{ mca} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 0,86 \text{ Kw} \\ P_1 = 1,06 \text{ kW}_e \end{array}$$

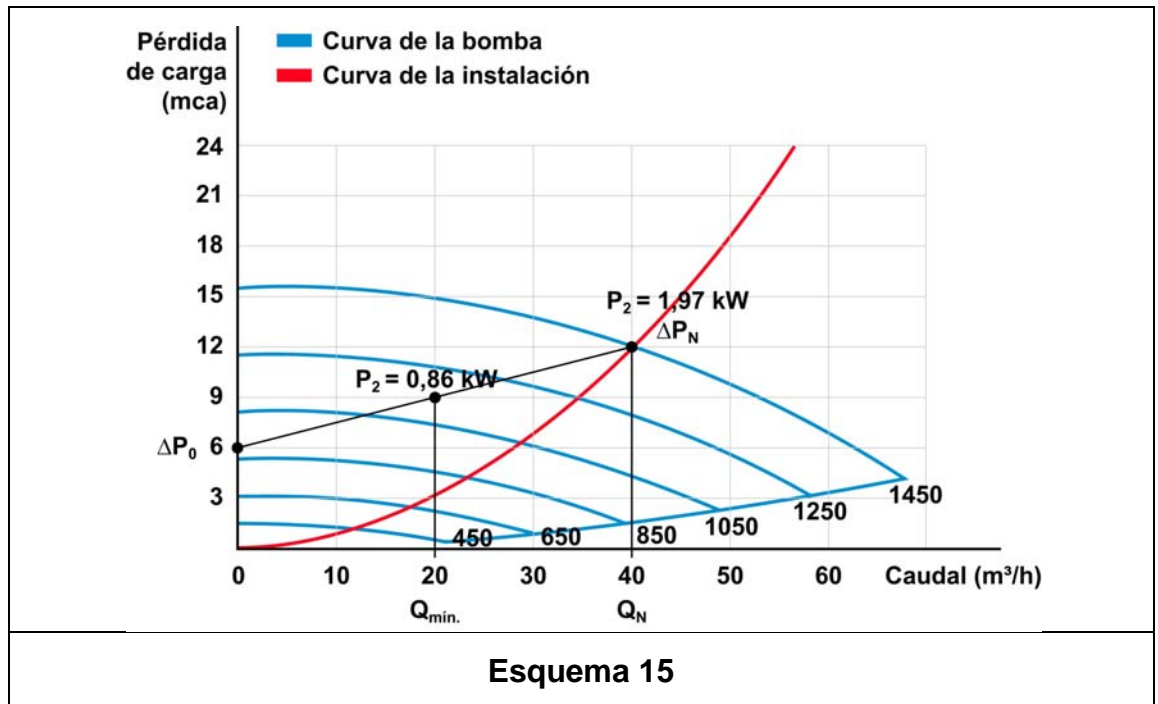
Es decir, hemos reducido el consumo eléctrico por bomba desde 2,43 kWe a 1,06 kWe, menos de la mitad.

Existen otras posibilidades de control para ahorrar energía en este tipo de instalaciones.

La determinación de los caudales se debe de hacer de acuerdo con el fabricante de la enfriadora. Hay fabricantes que admiten trabajar con un mínimo de 30% y la tendencia es a bajar este mínimo.

Hemos sido conservadores en nuestro estudio y NO hemos bajado del 50%.

En el **esquema 15** vemos el funcionamiento de la bomba circuladora a ΔP variable y las potencias correspondientes a los dos límites de trabajo.



6. Conclusiones

En las instalaciones hidráulicas, el mayor consumo eléctrico es el que se tiene por la producción y distribución de la energía térmica en las bombas circuladoras, que a menudo trabajan las 24 horas del día durante todo el año. Reducir el número de válvulas y elementos innecesarios en la instalación es reducir la energía eléctrica consumida (kW . h).

La correcta producción y distribución de la energía térmica (frío ó calor) NO se debe hacer sobredimensionando el caudal y/o la altura manométrica de la bomba circuladora para absorber luego estos excesos en las válvulas de equilibrado. No tiene sentido y se consume mucha energía innecesariamente.

Las instalaciones se deben proyectar y ejecutar con unidades de producción (enfriadoras, bombas de calor, calderas,...) y elementos de distribución (climatizadoras, fan-coils, aerotermos...) muy eficientes térmicamente, pero teniendo siempre en cuenta el consumo eléctrico (kW. h) asociado a estos equipos. A veces encarecen notablemente la instalación y NO reducen significativamente el consumo eléctrico.

No tenemos ninguna duda, las instalaciones con más futuro serán las ejecutadas con equilibrado automático, caudal variable y variación de frecuencia en las bombas circuladoras.