

# VAPOR: CONCEPTOS BÁSICOS

## VAPOR: CONCEPTOS BÁSICOS

### 1.1 CAMBIOS DE ESTADO

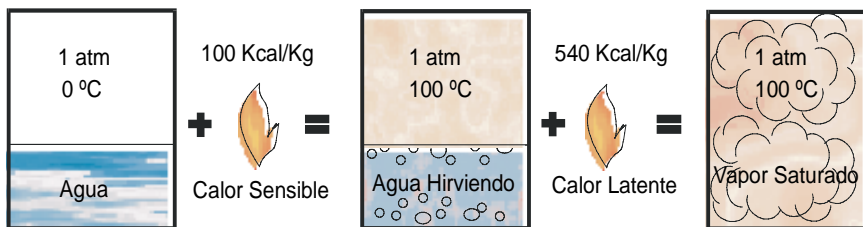
El vapor de agua es un fluido térmico ampliamente utilizado en la industria debido a dos características destacables:

- » Alto contenido energético.
- » Facilidad de transporte.

La conjunción de estas dos características facilita la distribución de grandes cantidades de energía a puntos muy alejados de la instalación, aprovechando la propia presión interna del vapor para bombear el fluido.

El agua se presenta en tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso o vapor. El paso de un estado a otro se denomina *cambio de estado* y se produce mediante intercambio de energía en forma de calor. Cuando el cambio de estado se realiza desde sólido a vapor el proceso toma energía y cuando se realiza en sentido contrario el proceso cede energía.

La figura 1.1 representa el proceso de vaporización de agua por aporte de calor, donde pueden apreciarse tres etapas diferenciadas.



PROCESO DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA

Figura 1.1

**Fase 1:** Inicialmente se parte de agua en estado líquido a presión atmosférica y temperatura 0° centígrados; aportando calor la temperatura del agua aumenta hasta alcanzar su punto de ebullición, 100 °C. La cantidad de energía suministrada en este proceso recibe el nombre de **calor sensible** (calor aportado al líquido, sin cambio de estado); su valor depende de la presión.

**Fase 2:** El calor aportado a partir del punto de ebullición se invierte en la evaporación de agua, pero la temperatura permanece constante mientras dure la evaporación, es decir, mientras haya agua y vapor en coexistencia. La energía absorbida en la formación del vapor se llama **calor latente**; su valor depende de la presión.

**Fase 3:** Una vez evaporada toda el agua, un aporte adicional de calor se invierte en elevar la temperatura del vapor obteniéndose **vapor sobrecalentado**.

Estas tres fases del proceso de vaporización se representan en la figura 1-2.

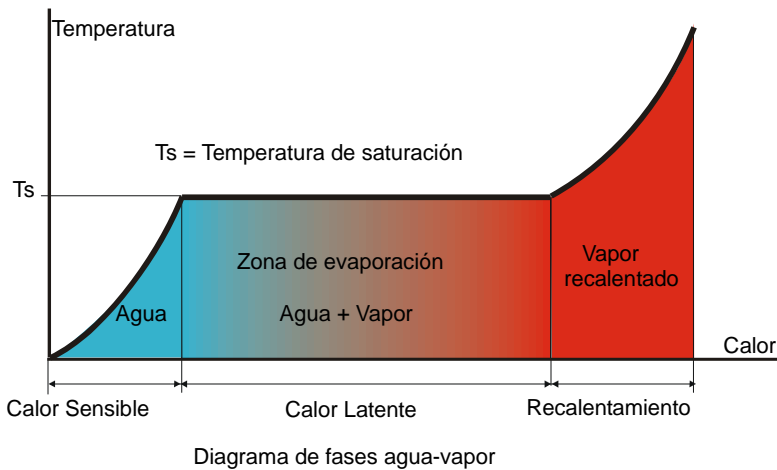


Figura 1.2

Destacar que el diagrama de fases agua-vapor es diferente para cada presión, por tanto, representando este diagrama para distintos valores de presión en un sistema de coordenadas tridimensional obtendríamos una superficie que relacionaría las tres magnitudes (presión, temperatura, calor), donde el calor latente y la temperatura de saturación son diferentes para cada presión.

Como se observa, el contenido energético total del vapor es:

$$\text{Calor Total} = \text{Calor Sensible} + \text{Calor Latente} + \text{Recalentamiento}$$

En la figura 1-3 se muestra la **curva de saturación del vapor**, que relaciona la temperatura de ebullición del agua con la presión. Esta variación puede también consultarse en la **tabla del vapor saturado** incluida al final del capítulo.

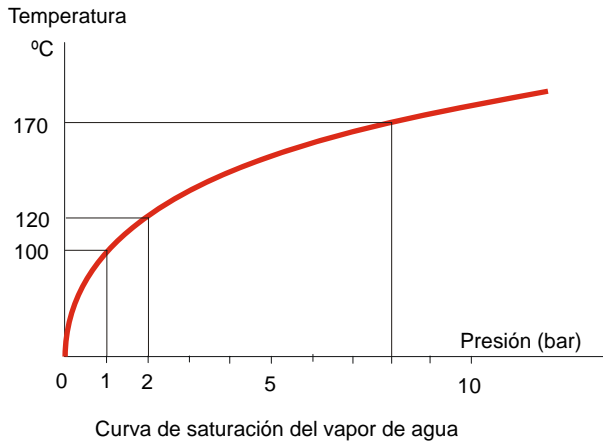


Figura 1.3

## 1.2 TERMINOLOGÍA

A continuación se indican algunos términos relativos al vapor de uso frecuente:

**Vapor saturado** o **vapor vivo**: vapor de agua a temperatura de ebullición o saturación.

**Vapor saturado seco**: vapor de agua a temperatura de ebullición sin contener partículas de agua en suspensión.

**Vapor recalentado**: vapor de agua cuya temperatura es superior a la temperatura de saturación que correspondería a esa presión.

**Condensación**: proceso inverso a la vaporización, por tanto, es el paso de vapor a agua (condensado), cediendo durante este proceso su calor latente.

**Presión manométrica**: presión medida tomando como nivel de referencia la presión atmosférica, es decir, es la indicada por los manómetros.

**Presión absoluta**: presión medida a partir de cero, es decir 1 bar por encima de la presión atmosférica. La presión absoluta es por tanto igual a la presión manométrica más 1 bar.

**Presión de trabajo o presión de servicio:** presión manométrica de vapor a la entrada al purgador.

**Contrapresión:** presión a la salida del purgador, es decir, es la presión en el colector de retorno del condensado.

**Presión diferencial:** diferencia entre presión de servicio menos contrapresión, es decir, presión delante menos presión detrás del purgador.

**Caloría (Cal):** cantidad de calor que debe suministrarse a un gramo de agua para elevar su temperatura desde 14.5 °C hasta 15.5 °C

**Kilocaloría (Kcal):** cantidad de calor que hay que suministrar a un Kilogramo de agua para elevar su temperatura desde 14.5 °C hasta 15.5 °C, equivale a 1000 Cal.

**Calor específico:** cantidad de calor que es preciso suministrar a una unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura un grado centígrado. Se expresa en Kcal/Kg °C. Calor específico del agua = 1 Kcal/Kg °C.

**Volumen específico:** volumen ocupado por una unidad de masa de una sustancia. Se expresa en m<sup>3</sup>/Kg. El volumen específico del vapor es muy grande comparado con el del agua; por ello, en la descarga de un purgador se suele observar una nube de vapor de expansión aun en el caso de que el purgador funcione correctamente

**Revaporización:** proceso de formación de vapor como consecuencia de un descenso de presión o expansión del condensado. El revaporizado así producido se llama también **vapor de expansión** o **vapor de flash**. A pesar de que en su origen no se produce aporte calorífico, su contenido energético y todas las demás propiedades son las correspondientes al vapor saturado a esa misma presión. En lo que concierne al purgador es fundamental diferenciar vapor vivo y vapor de expansión.

### **1.3 VAPOR DE EXPANSIÓN**

La presión y la temperatura del vapor saturado están relacionadas de manera que a cada presión le corresponde solamente una temperatura de saturación. Esta relación así como contenido energético (entalpía), volumen específico y otras propiedades del vapor se pueden obtener consultando la tabla del vapor saturado o la curva de saturación del vapor.

En la tabla del vapor saturado se observa que el calor sensible (calor del agua en ebullición) crece con el aumento de presión, mientras que el calor latente (calor de evaporación o calor cedido en la condensación) disminuye al aumentar la presión.

Representado gráficamente el calor total del vapor desglosado en sus dos componentes calor sensible y calor latente, (Figura 1-4) se puede encontrar una fácil explicación del proceso de formación del vapor de expansión:

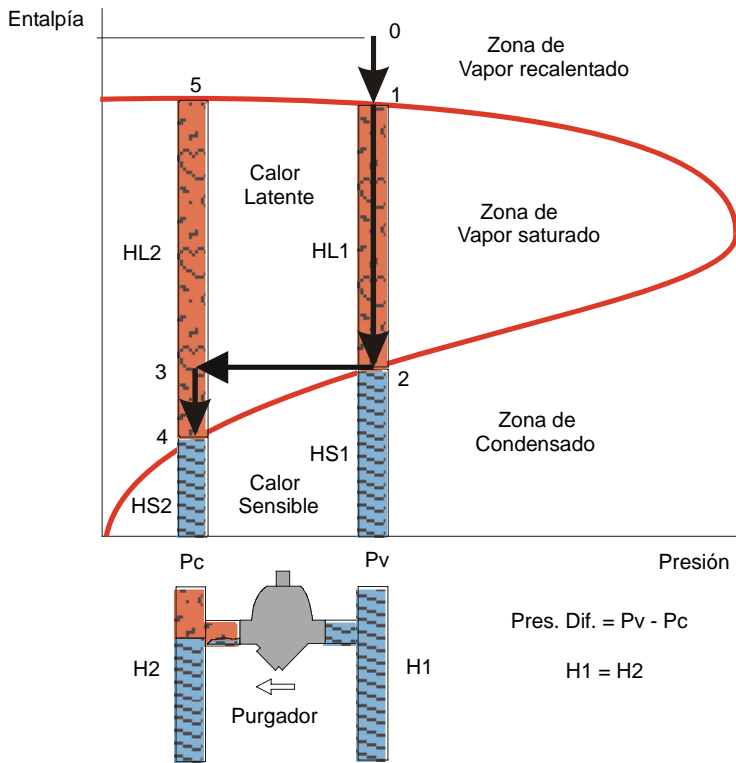


DIAGRAMA ENTALPÍA-PRESIÓN DEL VAPOR-AGUA

Figura 1.4

En efecto, el punto 1 representa el contenido energético del vapor a la entrada de un equipo consumidor de vapor. La cesión de calor latente se produce a lo largo del tramo 1-2. Al alcanzarse el punto 2, todo el vapor ha condensado sin variación teórica de su temperatura, llegando al purgador para ser eliminado.

A través del purgador se produce un descenso brusco de presión desde  $P_v$  hasta  $P_c$ , tramo 2-3, manteniéndose constante el contenido energético del condensado. El punto 3 representa el estado del condensado a la salida del purgador. Ahora bien, el punto de saturación del condensado a la presión  $P_c$  corresponde al punto 4, cuyo nivel energético es inferior al 3. Por tanto, en el punto 3 existe una mezcla de vapor y condensado, pues el tramo 3-4 representa el exceso de energía contenida en el condensado evacuado por el purgador, que revaporiza parcialmente hasta alcanzar el equilibrio energético. Nótese que este exceso de energía tiene su origen en la expansión del condensado a través del purgador ya que no existe aporte calorífico externo.

Resumiendo, siempre que un purgador trabaje a temperatura de saturación a presión de servicio, en su descarga existe una mezcla de vapor de expansión y condensado, de modo que la energía contenida en la fase líquida (condensado) es precisamente el calor sensible del condensado a la presión del colector, mientras el resto de energía, tramo 4-3 en la zona de evaporación del diagrama, corresponde a la presencia de cierta cantidad vapor de expansión formado durante este proceso.

La cantidad de revaporizado formado por unidad de masa de condensado evacuado es precisamente el cociente entre la entalpía correspondiente al tramo 3-4, dividida entre la entalpía correspondiente al tramo 5-4, es decir, el cociente entre la diferencia de entalpías del condensado antes y después del purgador ( $h_2-h_4$ ) dividida entre el calor latente de evaporación a la presión de salida del purgador ( $h_5-h_4$ ):

$$\text{Revaporizado por unidad de masa} = (h_2-h_4) / (h_5-h_4)$$

Conocer el mecanismo del proceso físico de formación de vapor de expansión es fundamental para evaluar el correcto funcionamiento de un purgador, pues no resulta fácil diferenciar vapor vivo y vapor de expansión lo que conduce a graves errores de diagnóstico de purgadores, agravado por el enorme aumento de volumen que se produce durante la formación de vapor de expansión.

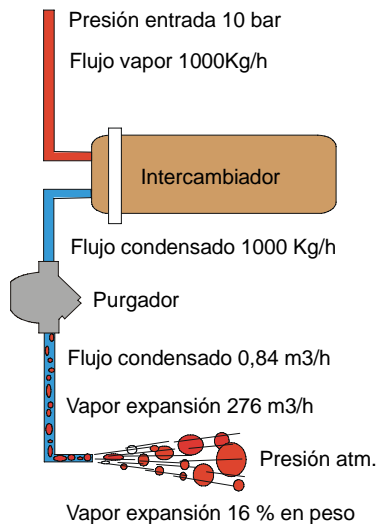


Figura 1.5

La figura 1-5 esquematiza este aspecto, evidenciando el fuerte aumento de volumen que experimenta el condensado al revaporizar a la salida del purgador.

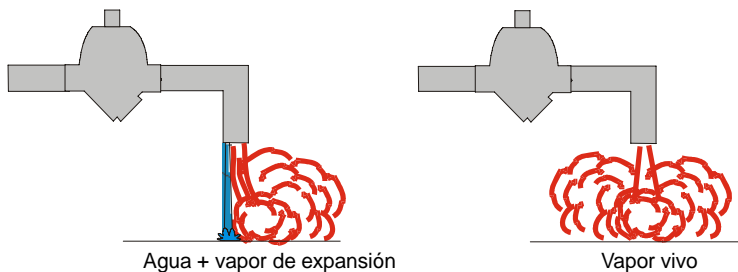
Nótese que aunque la cantidad de condensado es muy superior a la de vapor de expansión formado en peso, sin embargo al comparar sus volúmenes ocurre todo lo contrario (276 m<sup>3</sup>/h de revaporizado frente a 0.840 m<sup>3</sup>/h de condensado).

#### 1.4 DIFERENCIA ENTRE VAPOR VIVO Y VAPOR DE EXPANSIÓN

La única diferencia entre vapor vivo y vapor de expansión radica en su proceso de generación, pero una vez alcanzado el estado de vapor ambos tienen las mismas propiedades físicas y químicas. Esto dificulta la detección visual de fugas de vapor vivo en la descarga de purgadores. El diagnóstico se complica en instalaciones con cientos o miles de purgadores donde la descarga de unos llegan a alterar localmente la contrapresión en el colector de condensado común, dificultando o impidiendo diferenciar vapor vivo y vapor de expansión.

La temperatura ambiente y la humedad relativa del aire afectan mucho el aspecto de la descarga de purgadores; en días fríos y húmedos el vapor de expansión es mucho más visible que en días cálidos y soleados.

Con experiencia, a veces, es posible diferenciar a simple vista las descargas de vapor vivo y vapor de expansión, siempre que la cantidad de vapor vivo sea pequeña. Observando la descarga de un purgador, el revaporizado va siempre acompañado de cierta cantidad de condensado, presentando un aspecto más húmedo que el vapor vivo. Es decir, el revaporizado es ligeramente opaco y de aspecto humeante, mientras el vapor vivo es transparente y fluye a gran velocidad, con mucho ruido, justo a la salida del purgador (ver figura 1-6). Un diagnóstico preciso sólo puede obtenerse con ayuda de equipos de detección fiables.



DESCARGA ATMOSFÉRICA DE UN PURGADOR

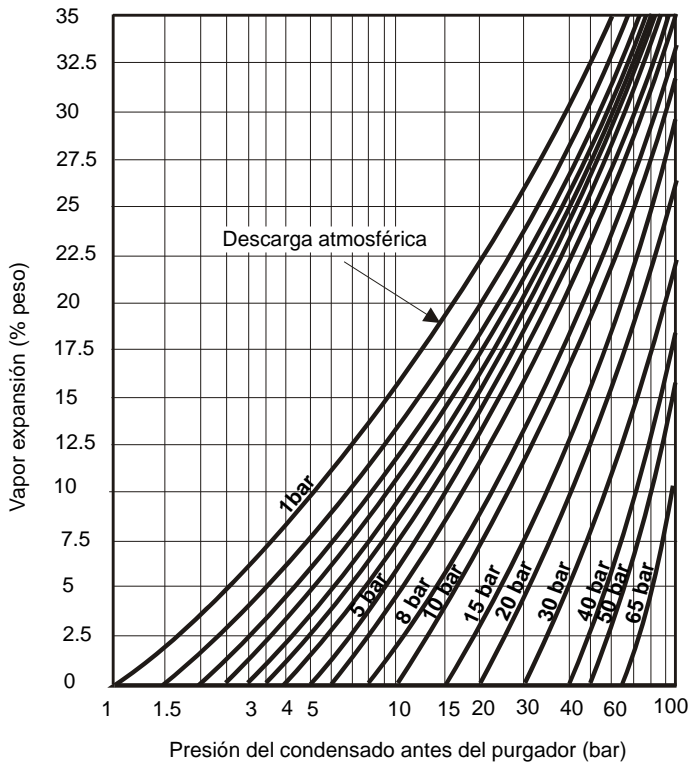
Figura 1.6

La reducción de revaporizado en estaciones de purga es siempre importante, sobre todo en grandes instalaciones donde por su largo trazado o por ampliaciones sucesivas pueden aparecer fuertes contrapresiones locales que dificultan o impiden el buen funcionamiento y afectan a su rendimiento energético.

Las actuales técnicas de ahorro de energía y reducción de emisiones atmosféricas hacen necesario en muchos procesos el aprovechamiento parcial del calor sensible del condensado, quedando atenuada la formación de revaporizado.

En la figura 1-4 se observa que para reducir la formación de vapor de expansión es necesario disminuir el tramo 3-4, es decir, bajar la posición del punto 2, cuya posición depende de la presión de servicio del vapor, que no es fácilmente modificable ya que viene impuesta por el propio proceso, o bien ajustando la temperatura de descarga del purgador, lo que solamente es posible en purgadores termostáticos. Nótese que en la práctica el ajuste de temperatura de descarga de un purgador requiere que éste disponga de un mecanismo de ajuste externo en marcha; de lo contrario resulta una operación laboriosa, difícil y generalmente impracticable.

El gráfico de la figura 1.7 permite calcular gráficamente la cantidad de revaporizado por unidad de masa en la expansión del condensado a través de un purgador.



VAPOR DE EXPANSIÓN

Figura 1.7



La temperatura ambiente y la humedad relativa de la atmósfera afectan mucho el aspecto de la descarga de purgadores. En días húmedos y fríos de invierno el vapor de expansión en la descarga de purgadores es exageradamente visible, causando la impresión de presencia de grandes fugas de vapor; por el contrario, en días calurosos y secos de verano la apariencia de ese revaporizado se muestra muy atenuada.

### **1.5 PROBLEMAS CAUSADOS POR EL VAPOR DE EXPANSIÓN**

La revaporización parcial que sufre el condensado a su descarga en el purgador es una de las causas que produce serios problemas de diversa índole, a saber:

#### ***Problemas operativos:***

- » Enfriamiento de líneas y merma de eficacia en procesos de calentamiento.
- » Aparición de golpes de ariete térmicos
- » Dificultad de regulación de procesos de intercambio de calor.
- » Solidificación de productos viscosos en líneas y equipos de proceso

#### ***Problemas energéticos y ambientales:***

- » Incremento de fugas de vapor
- » Incremento de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>
- » Dificultad de recuperación de condensado y de energía residual
- » Incremento de ruido y humedad en las unidades de proceso

#### ***Problemas de inspección y mantenimiento:***

- » Dificultad de inspección de purgadores
- » Incremento de erosión en redes de retorno de condensado
- » Incremento de desgastes internos en purgadores
- » Rotura de elementos y empaquetaduras producidas por golpes de ariete
- » Incremento de corrosión debida a ambientes más húmedos

Todos estos problemas tiene generalmente como causa común la elevación de contrapresión en el colector de retorno de condensado, originada como consecuencia del enorme incremento de volumen específico que sufre el condensado al producirse su revaporización parcial en la descarga de purgadores (ver figura 1.5).

La figura 1-8 muestra un grupo de purgadores descargando a un colector común. Si la temperatura de descarga de alguno de esos purgadores no se controla correctamente, en su zona de descarga se formará vapor de expansión que presurizará localmente el colector de condensado. Este efecto se transmitirá a los purgadores próximos que, dependiendo del tipo utilizado, verán afectado su funcionamiento en mayor o menor medida.

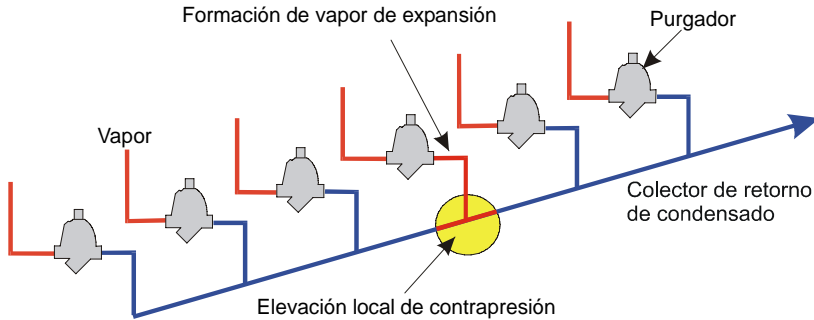


Figura 1.8

Una vez que el problema aparece, si no se controla eficazmente suele extenderse con gran rapidez por toda la red de condensado. Este problema es frecuente cuando se utilizan purgadores de tipo mecánico o termodinámico, pues no permiten controlar su temperatura de descarga.

En los termodinámicos el hecho se agrava ya que su funcionamiento a baja presión exige que la contrapresión no exceda del 60 % de la presión de entrada; por tanto la elevación de contrapresión afecta inmediatamente a purgadores próximos que no pueden rebajar en esas condiciones quedando en posición abierta, dejando escapar vapor vivo al colector. Es decir el purgador termodinámico actúa como detonador de este problema, viéndose afectado a su vez por sus efectos, creándose un círculo vicioso de muy difícil salida y graves consecuencias.

Para eliminar este problema se utilizaron purgadores bi-termostático bimetálicos con válvula de presión compensada y mecanismo de ajuste externo en marcha, capaces de soportar contrapresiones muy elevadas y permitir el ajuste individual de su temperatura de descarga, sin necesidad de interrumpir su normal operación.

El compromiso actual de uso eficiente de la energía y reducción de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub> han hecho posible la aplicación de soluciones tecnológicas que han permitido el desarrollo del actual concepto de purgador inteligente, BiTherm SmartWatchWeb, cuya descripción y características se estudian en un capítulo posterior de este manual.

## **1.5 TABLA DEL VAPOR SATURADO**

En la página siguiente se muestra la tabla del vapor saturado con datos útiles para cálculos, tales como volumen específico, entalpía sensible, entalpía total y calor latente de vaporización. Nótese que la última columna de la tabla, calor latente de vaporización, es la diferencia entre la entalpía total del vapor menos la correspondiente al agua a la temperatura de ebullición a esa presión, tal como se muestra en la figura 1-4.

Es interesante destacar que mientras la entalpía del agua en ebullición crece al aumentar la presión de un modo continuo (ver columna 4 de la tabla), no ocurre lo mismo con la entalpía total del vapor (columna 5) que presenta su máximo valor al alcanzarse la presión de 30 bar para decrecer al rebasarse el valor de presión citado.

El calor latente de vaporización, que es utilizado prioritariamente en los procesos de intercambio de calor, decrece continuamente al aumentar la presión, por ello, el consumo de vapor descenderá a medida que se utilicen presiones de trabajo mas reducidas.

Sin embargo, existe un límite inferior de utilización de presión que viene impuesto por la necesidad de alcanzar determinada temperatura de calentamiento en el proceso, temperatura que depende de la presión de vapor (columnas 1 y 2).

**TABLA DE VAPOR SATURADO**

| Presión abs.<br>bar<br>P | Temperatura<br>saturación °C<br>Ts | Volumen<br>específico<br>m3/Kg | Entalpia               |                      | Calor<br>latente<br>Kcal/Kg |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                          |                                    |                                | del líquido<br>Kcal/Kg | del vapor<br>Kcal/Kg |                             |
| 1,0                      | 99,09                              | 1,725                          | 99,12                  | 638,5                | 539,4                       |
| 1,5                      | 110,79                             | 1,180                          | 110,92                 | 642,8                | 531,9                       |
| 2,0                      | 119,62                             | 0,9016                         | 119,87                 | 645,8                | 525,9                       |
| 2,5                      | 126,79                             | 0,7316                         | 127,2                  | 648,3                | 521,1                       |
| 3,0                      | 132,88                             | 0,6166                         | 133,4                  | 650,3                | 516,9                       |
| 3,5                      | 138,19                             | 0,5335                         | 138,8                  | 651,9                | 513,1                       |
| 4,0                      | 142,92                             | 0,4706                         | 143,6                  | 653,4                | 509,8                       |
| 4,5                      | 147,20                             | 0,4213                         | 148,0                  | 654,7                | 506,7                       |
| 5,0                      | 151,11                             | 0,3816                         | 152,1                  | 655,8                | 503,7                       |
| 5,5                      | 154,71                             | 0,3489                         | 155,8                  | 656,9                | 501,1                       |
| 6,0                      | 158,08                             | 0,3213                         | 159,3                  | 657,8                | 498,5                       |
| 6,5                      | 161,15                             | 0,2980                         | 162,6                  | 658,7                | 496,1                       |
| 7,0                      | 164,17                             | 0,2778                         | 165,6                  | 659,4                | 493,8                       |
| 7,5                      | 166,96                             | 0,2602                         | 168,5                  | 660,2                | 491,7                       |
| 8,0                      | 169,61                             | 0,2448                         | 171,3                  | 660,8                | 489,5                       |
| 8,5                      | 172,11                             | 0,2311                         | 173,9                  | 661,4                | 487,5                       |
| 9,0                      | 174,53                             | 0,2189                         | 176,4                  | 662,0                | 485,6                       |
| 9,5                      | 176,82                             | 0,2080                         | 178,9                  | 662,5                | 483,6                       |
| 10,0                     | 179,04                             | 0,1981                         | 181,2                  | 663,0                | 481,8                       |
| 11                       | 183,20                             | 0,1808                         | 185,6                  | 663,9                | 478,3                       |
| 12                       | 187,08                             | 0,1664                         | 189,7                  | 664,7                | 475,0                       |
| 13                       | 190,71                             | 0,1541                         | 193,5                  | 665,4                | 471,9                       |
| 14                       | 194,13                             | 0,1435                         | 197,1                  | 666,0                | 468,9                       |
| 15                       | 197,36                             | 0,1343                         | 200,6                  | 666,6                | 466,0                       |
| 16                       | 200,43                             | 0,1262                         | 203,9                  | 667,1                | 463,2                       |
| 17                       | 203,35                             | 0,1190                         | 207,1                  | 667,5                | 460,4                       |
| 18                       | 206,14                             | 0,1126                         | 210,1                  | 667,9                | 457,8                       |
| 19                       | 208,81                             | 0,1068                         | 213,0                  | 668,2                | 455,2                       |
| 20                       | 211,38                             | 0,1016                         | 215,8                  | 668,5                | 452,7                       |
| 21                       | 213,85                             | 0,09682                        | 218,5                  | 668,7                | 450,2                       |
| 22                       | 216,23                             | 0,09251                        | 221,2                  | 668,9                | 447,7                       |
| 23                       | 218,53                             | 0,08856                        | 223,6                  | 669,1                | 445,5                       |
| 24                       | 220,75                             | 0,08492                        | 226,1                  | 669,3                | 443,2                       |
| 25                       | 222,90                             | 0,08157                        | 228,5                  | 669,4                | 440,9                       |
| 26                       | 224,99                             | 0,07846                        | 230,8                  | 669,5                | 438,7                       |
| 28                       | 228,98                             | 0,07288                        | 235,2                  | 669,6                | 434,4                       |
| 30                       | 232,76                             | 0,06802                        | 239,5                  | 669,7                | 430,2                       |
| 33                       | 238,08                             | 0,06179                        | 245,5                  | 669,6                | 424,1                       |
| 35                       | 241,42                             | 0,05822                        | 249,4                  | 669,5                | 420,1                       |
| 38                       | 246,17                             | 0,05353                        | 254,8                  | 669,3                | 414,5                       |
| 40                       | 249,18                             | 0,05078                        | 258,2                  | 669,0                | 410,8                       |
| 45                       | 256,23                             | 0,04495                        | 266,5                  | 668,2                | 401,7                       |
| 50                       | 262,70                             | 0,04024                        | 274,2                  | 667,3                | 393,1                       |
| 55                       | 268,69                             | 0,03636                        | 281,4                  | 666,2                | 384,8                       |
| 60                       | 274,29                             | 0,03310                        | 288,4                  | 665,0                | 376,6                       |
| 65                       | 279,54                             | 0,03033                        | 294,8                  | 663,6                | 368,8                       |
| 70                       | 284,48                             | 0,02795                        | 300,9                  | 662,1                | 361,2                       |
| 75                       | 289,17                             | 0,02587                        | 307,0                  | 660,5                | 353,5                       |
| 80                       | 293,62                             | 0,02404                        | 312,6                  | 658,9                | 346,3                       |
| 85                       | 297,86                             | 0,02241                        | 318,2                  | 657,0                | 338,8                       |
| 90                       | 301,92                             | 0,02096                        | 323,6                  | 655,1                | 331,5                       |
| 95                       | 305,80                             | 0,01964                        | 328,8                  | 653,2                | 324,4                       |
| 100                      | 309,53                             | 0,01845                        | 334,0                  | 651,1                | 317,1                       |
| 110                      | 316,58                             | 0,01637                        | 344,0                  | 646,7                | 302,7                       |
| 120                      | 323,15                             | 0,01462                        | 353,9                  | 641,9                | 288,0                       |

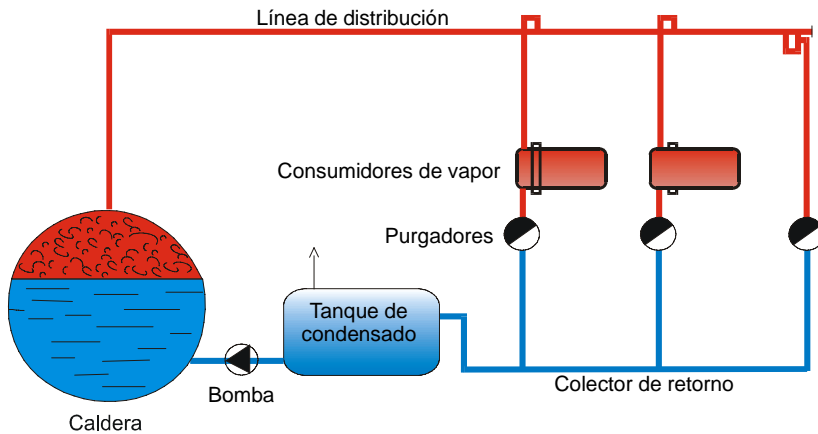
## CAPITULO 2

### REDES DE VAPOR Y CONDENSADO

#### 2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

De forma esquematizada, una instalación de vapor es un circuito semicerrado constituido por cuatro componentes básicos (figura 2.1):

- » Unidades generadoras de vapor
- » Red de distribución de vapor
- » Equipos consumidores de vapor
- » Red de retorno de condensado



ESQUEMA SIMPLIFICADO DE INSTALACIÓN DE VAPOR

Figura 2.1

En una instalación de vapor pueden apreciarse dos zonas con niveles energéticos claramente diferenciados, cuya frontera queda establecida por medio de elementos de control llamados trampas de vapor y purgadores.

En la tabla de vapor saturado se observa que la energía por unidad de masa (calor total del vapor) en la zona de alto nivel energético, es cuatro a cinco veces mayor a la correspondiente a la zona de bajo nivel energético (calor sensible del condensado). En los consumidores de vapor se cede calor latente, produciéndose el cambio de estado (condensación de vapor).

Las transformaciones de energía en la instalación se producen en forma de ciclo continuo por lo que el rendimiento energético global es tanto mayor cuanto menor energía sea recirculada en ella, es decir aprovechando al máximo la energía del vapor antes de pasar a la zona de condensado.

Desde el punto de vista funcional también es necesario minimizar la inyección de energía del vapor a la zona de condensado para evitar la aparición de graves problemas de funcionamiento de la red (golpes de ariete, elevada contrapresión, cavitación de bombas de alimentación a caldera, etc.).

Además, elevando el rendimiento energético de la instalación de vapor se reduce la cantidad de combustible necesario par generar vapor y, con ello, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduciéndose la contaminación atmosférica.

Resulta, por tanto, imprescindible establecer una barrera física de separación entre las dos zonas energéticas de la instalación de vapor, evitando el paso de energía de la zona de alto a la zona de bajo nivel energético.

Ahora bien, el vapor condensa al ceder energía y el condensado formado en la superficie de intercambio de calor ha de ser eliminado para mantener expuesta al vapor esa superficie de intercambio y así mantener una tasa elevada de transferencia de calor, pues el coeficiente de transmisión de calor del condensado es del orden de 100 veces inferior al del vapor.

De todo lo anterior se desprende la necesidad de evacuar el condensado producido en la zona de vapor, o de alto nivel energético, evitando al mismo tiempo el paso de vapor a la zona de condensado, o de bajo nivel energético. Esta misión esencial se realiza mediante una amplia variedad de dispositivos mecánicos denominados trampas de vapor (en inglés “steam traps”) y purgadores.

Notar que aunque ambos conceptos suelen confundirse, este manual diferencia **trampa de vapor** y **purgador**, pues su aplicación afecta no sólo al funcionamiento y prestaciones de la instalación sino también otros aspectos de especial relevancia, entre ellos el rendimiento energético de la instalación, la emisión de gases de efecto invernadero y el mantenimiento de la propia instalación de vapor.

Finalmente el perfeccionamiento del concepto purgador ha dado lugar al desarrollo del moderno purgador inteligente.

## **2.2 DIFERENCIA ENTRE TRAMPA DE VAPOR Y PURGADOR**

Al referirse a elementos de purga es habitual usar indistintamente los conceptos trampa de vapor y purgador de condensado. Sin embargo, existe una diferencia sustancial entre ambos conceptos.

La **trampa de vapor**, o simplemente **trampa**, es un elemento de purga actuado por cambios de estado del fluido (vapor o agua), pero carece de capacidad de control sobre la energía residual del condensado.

El **purgador de condensado**, o simplemente **purgador**, es un elemento automático de purga actuado por el nivel energético del fluido y, por tanto, con capacidad de controlar la energía residual del condensado.

La diferencia esencial entre trampa y purgador es precisamente esa característica de control energético de energía, presente solamente en el purgador. Por esta razón, el rendimiento energético del purgador es siempre superior al de la trampa.

Para matizar esta diferencia observemos la figura 2.1. La caldera (productor de vapor) está conectada a los consumidores de energía mediante dos líneas: la línea de distribución de vapor (alto nivel energético) y el colector de retorno de condensado (bajo nivel energético). Ambas zonas están separadas mediante una barrera que puede adoptar dos formas diferentes:

- » **Barrera física de cambio de estado** creada por **trampas** de vapor, que descargan condensado a la temperatura de saturación (máxima energía residual), produciendo la mayor cantidad posible de vapor de expansión en su descarga. Esto eleva la contrapresión y puede causar fuertes golpes de ariete térmicos en el colector de retorno de condensado.
- » **Barrera energética** creada por **purgadores**, que regulan eficientemente la energía residual del condensado reduciendo la cantidad de revaporizado en la descarga; esto también reduce la contrapresión y la generación de golpes de ariete térmicos en el colector de retorno de condensado.

Ahora bien, en la tabla del vapor saturado (apartado 1.5) es interesante observar que la columna **temperatura de saturación** y la columna **calor sensible del líquido** son prácticamente idénticas para cada presión. Ello significa que para crear la barrera energética, el purgador debe ser capaz de regular la temperatura de evacuación del condensado.

Por tanto, el concepto **purgador** va siempre unido al de **regulador termostático**.

Para evaluar la diferencia existente entre los conceptos trampa y purgador es preciso analizar los procesos que se producen en cada uno de ellos (figura 2.2).

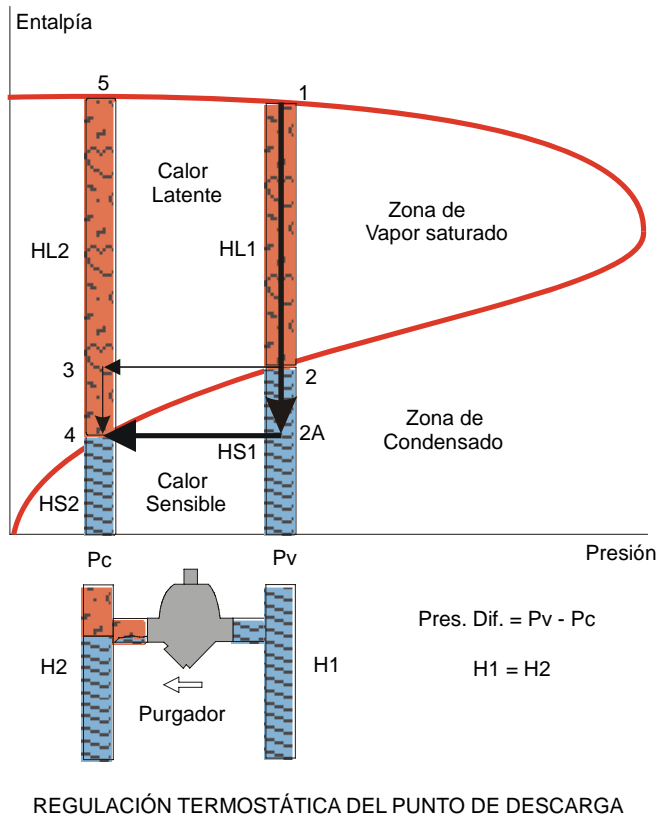


Figura 2.2

- » **Proceso de descarga en trampas de vapor:** Una vez que el vapor vivo ha cedido todo su calor latente (HL1) condensa alcanzándose el punto 2 (barrera física de cambio de estado vapor-agua). En este punto la trampa abre enviando toda la energía residual del condensado al colector de retorno, (punto 3). En éste colector, a presión Pc, una parte de esa energía residual (tramo 3-4) revaporiza cierta cantidad del condensado evacuado, produciendo nefastas consecuencias.
- » **Proceso de descarga en purgadores:** El control de la temperatura de apertura del purgador permite ajustar el punto 2 hasta una posición 2A más favorable para cada proceso, aprovechando parcialmente la energía residual del condensado, incrementando la eficiencia energética y evitando las consecuencias desfavorables ya descritas.



Nótese que cuando se descarga un exceso de energía residual en colectores de retorno, dicho exceso energético normalmente es disipado a lo largo del propio colector o es eliminado a través del venteo atmosférico del tanque de condensados. De otra parte, la circulación a gran velocidad de condensado mezclado con vapor de expansión produce fuerte erosión y daños en accesorios de tubería, codos, válvulas, ...

Un sencillo cálculo muestra que, en redes de baja presión, la utilización de energía residual (tramo 3-4) representa un 8 % de la energía del vapor (tramo 1-2), es decir, un ahorro del 8 % en el consumo de vapor y con ello un ahorro similar en el consumo de agua tratada.

En consecuencia, en grandes redes de vapor con miles de puntos de purga (p. ej. refinерías, industria petroquímica, ...), la utilización de purgadores, frente a trampas de vapor, produce las siguientes notables ventajas:

- » Incremento de eficiencia energética (8 %)
- » Reducción de 8 % en consumo de agua tratada
- » Reducción de emisión de CO<sub>2</sub> (2,3 % usando fuel como combustible)
- » Reducción de contrapresión en colector de retorno de condensado.
- » Prevención de golpes de ariete térmicos
- » Reducción de costes de mantenimiento (menor erosión en válvulas, purgadores, accesorios, ...)

### **2.3 ACOPLAMIENTO DE LAS REDES DE VAPOR Y CONDENSADO**

Se dice que una red de condensado está acoplada con la red de vapor cuando la presión en el colector de retorno de condensado sigue las variaciones de la red de vapor; este fenómeno es frecuente en grandes instalaciones con miles de trampas de vapor en servicio.

En el apartado 2.1 se estableció la necesidad de establecer una barrera entre la zonas de alto y bajo nivel energético (vapor y condensado), que es creada por trampas de vapor y purgadores.

Este aspecto ofrece una diferente definición de *trampa de vapor y purgador*, como *elementos capaces de producir la máxima pérdida de carga posible compatible con correcto funcionamiento de la red de vapor y condensado*.

Para aclarar este concepto digamos que durante la puesta en marcha de la instalación el condensado está bastante frío y el purgador ofrece poca resistencia al paso del fluido; a medida que aumenta la temperatura del condensado el purgador va

estrangulando su paso (aumentando su pérdida de carga) hasta que, finalmente, cuando le llega vapor vivo cierra totalmente (pérdida de carga 100 %).

En el caso de trampas de vapor termodinámicas y de cubeta invertida este proceso no es continuo sino intermitente; cada vez que la trampa abre su pérdida de carga es pequeña e incrementa desfavorablemente la presión del colector de condensado. El aumento de contrapresión y el deterioro de la trampa con el tiempo aumentan su ritmo de descargas y, con ello, disminuye la pérdida de carga creada por la trampa.

El acoplamiento de la red se produce como consecuencia del fallo o ineficiencia de los elementos (trampas y purgadores) encargados de crear la barrera energética entre las zonas de vapor y de condensado de la instalación. En esta circunstancia, la presión en el colector de condensado crece tendiendo a igualarse con la presión del vapor; de esta forma disminuye la presión diferencial en trampas y purgadores y aparecen serios problemas de funcionamiento de la red (falta de capacidad de evacuación de condensado, fuertes golpes de ariete térmicos, elevado consumo de vapor, imposibilidad de recuperación de condensado, etc.).

Obviamente, la solución a este problema consiste en aumentar la pérdida de carga en trampas y purgadores hasta alcanzar el máximo valor compatible con cada aplicación. Esta solución, conceptualmente simple, puede presentar insalvables dificultades de ejecución cuando se utilizan trampas de vapor, pero es posible con purgadores sin más que hacer descender la posición del punto 2 (figura 2.2.), es decir, reducir la temperatura de descarga de condensado; esto reduce la formación de vapor de expansión y la contrapresión del colector reduciendo el acoplamiento de la red.

De aquí se extraen dos importantes conclusiones:

- » *El uso de trampas de vapor contribuye a generar acoplamiento de la red*
- » *El uso de purgadores reduce el acoplamiento de la red.*

En la práctica, el ajuste de temperatura de descarga sólo es operativo si el purgador dispone de un mecanismo de ajuste externo en marcha, de esta forma se puede actuar dinámicamente sobre el purgador y verificar directa e inmediatamente sus resultados en el proceso y sus efectos sobre las condiciones de la red.

Nótese que para que el citado mecanismo cumpla su objetivo ha de ser practicable durante la normal operación del purgador ya que de otro modo se perdería la posibilidad de realizar ajustes de forma dinámica, anulándose su principal misión. El mecanismo de ajuste externo en marcha en purgadores bi-termostáticos permite aporta otras características destacables como la de posibilitar su reparación sin necesidad de repuestos ni de interrumpir el servicio del purgador, reduciendo sustancialmente costes de mantenimiento.

## 2.4 ¿TRAMPAS DE VAPOR O PURGADORES?

Una vez diferenciados los conceptos *trampa de vapor* y *purgador* cabe preguntarse en qué situaciones debe utilizarse uno u otro concepto.

La diversidad de procesos y aplicaciones que utilizan vapor se traduce en exigencias muy flexibles, a veces contradictorias, que requieren diferentes tipos de trampas de vapor y purgadores para cumplir de la mejor forma posible con las especificaciones del servicio a realizar (en algunos casos es posible utilizar ambos conceptos con resultados aceptables).

Así, por ejemplo, el buen funcionamiento de un cilindro secador rotativo en una industria papelera o textil puede requerir una pequeña fuga continua de vapor mientras aplicaciones de traceado no crítico requieren controlar la temperatura de descarga del condensado hasta 40 °C por debajo de la temperatura de saturación del vapor. Entre ambos ejemplos límite existe una gran variedad de aplicaciones donde es preciso analizar el proceso para decidir el elemento idóneo a utilizar para purgar condensado.

Como aclaración indicar que en todos los procesos de intercambio de calor la temperatura media del condensado que llega al purgador es del orden de 10 °C inferior a la temperatura de saturación del vapor. Este hecho permite usar purgadores termostáticos sin riesgo de retener condensado en el equipo intercambiador de calor. No obstante, ciertas aplicaciones requieren reducir más la temperatura de evacuación del condensado para compensar sobredimensionados del intercambiador de calor y, con ello, reducir significativamente el consumo de vapor.

Sin embargo, no se debe contemplar el purgador como un elemento aislado sino integrado en la instalación para prevenir los efectos desfavorables de integración entre los elementos diversos que la componen.

En efecto, en una instalación de vapor pueden existir aplicaciones que usan vapor sobrecalentado (turbinas, cilindros secadores, etc.) y otras vapor saturado (intercambiadores de calor, tanques, traceado, etc.). El vapor utilizado, además, abarca un amplio rango de presión y temperatura. Incluso a veces los condensados de las diversas aplicaciones se conducen por líneas de retorno independientes. Todo ello produce fuertes interacciones que dan lugar a serios problemas de funcionamiento.

Pues bien, la utilización de ciertas trampas de vapor (termodinámicas, laberinto y cubeta invertida) produce descargas continuas o intermitentes de ciertas cantidades de vapor vivo con elevado contenido energético (punto 1, figura 2-2) en el colector de condensado (en aplicaciones con vapor recalentado el contenido energético del vapor vivo se sitúa por encima del punto 1); estas descargas van acompañadas de condensado a elevada temperatura que produce fuerte revaporización adicional en el colector de retorno.

Por tanto, la utilización indiscriminada de trampas de vapor conduce a la existencia de una mezcla de condensado, vapor de expansión y vapor vivo en el colector de retorno de condensado, cuya diferencia de niveles energéticos origina graves consecuencias operativas y económicas.

Por el contrario, el uso de purgadores previene toda posibilidad de descargar vapor vivo y controla la temperatura de evacuación del condensado, limitando así la formación de revaporizado en el colector de retorno.

En definitiva, se deben siempre analizar en detalle todas las características de cada proceso, realizar un balance energético de las aplicaciones, evaluar el nivel energético y la energía requerida, compararla con la suministrada y, finalmente, determinar la energía residual óptima del condensado.

Toda esta información será necesaria par determinar la posición del punto 2 (figura 2.2.), es decir la temperatura de trabajo del purgador, que condicionará no sólo el funcionamiento de toda la instalación sino su rendimiento energético y los costes de mantenimiento futuros.

Del análisis de toda esa información se desprenderá la idoneidad de usar trampas de vapor o purgadores.

Destacar que el colector de retorno de condensado en grandes instalaciones (refinerías, petroquímicas, etc.) es muy sensible a persistentes problemas causados por contrapresión y golpes de ariete térmicos. Para evitarlo, sin ampliar el diámetro del colector, la mejor solución es utilizar purgadores, en lugar de trampas de vapor, para controlar la energía del condensado.

Como norma general deben utilizarse purgadores en todas las aplicaciones que requieran un preciso control de energía o un control continuo de energía residual del condensado, restringiendo el uso de las trampas de vapor a aplicaciones donde sea imprescindible garantizar la total ausencia de condensado delante del purgador.

Finalmente el purgador también puede utilizarse excepcionalmente a modo de trampa de vapor cuando convenga asegurar una fuga controlada de vapor vivo pequeña, para ello basta elevar su temperatura de descarga hasta el punto de saturación del vapor.

## **2.5 EL PURGADOR IDEAL**

Desde un punto de vista funcional, el purgador ha de ser capaz de realizar las siguientes funciones:

- » Evacuar condensado sin pérdida de vapor
- » Evacuar aire y gases incondensables

Ahora bien, desde el punto de vista operativo el purgador debe poseer otras prestaciones adicionales, tales como:

- » Elevada fiabilidad
- » Elevada eficiencia energética
- » Control energético del condensado
- » Mantenimiento sencillo, preferiblemente en línea sin interrupción de servicio
- » Robustez y versatilidad
- » Auto detección de alteración de sus condiciones de trabajo
- » Elevada calidad

Obviamente es difícil en la práctica cumplir todas estas condiciones. Por tanto, el purgador real ha de acercarse tanto como sea posible al ideal y cumplir aquellas características, entre las enumeradas, que sean esenciales para la aplicación en la que han prestar servicio, sacrificando las menos exigibles.

A lo largo de décadas trampas y purgadores han experimentado un lento desarrollo mecánico. En la actualidad, la combinación de microelectrónica con el purgador bitermostático ha dado origen al ***purgador inteligente***, potente controlador de energía del condensado, que resuelve a plena satisfacción la mayoría de los problemas derivados del tamaño y complejidad de las instalaciones y del continuo encarecimiento de la energía. El purgador inteligente (capítulo 5) puede reducir entre un 8 % y un 15 % el consumo de vapor en las instalaciones (capítulo 9).

## CAPITULO 3

### TRAMPAS DE VAPOR

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

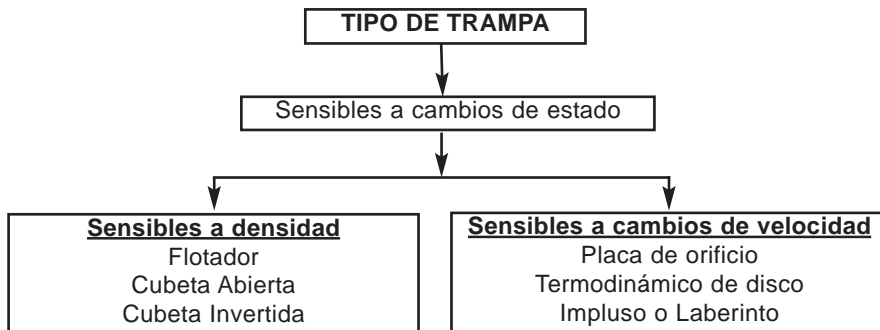
Como se mencionó en el capítulo 2, la *trampa de vapor* es un elemento automático de purga de tipo mecánico sin capacidad de regulación de temperatura de descarga de condensado.

Su funcionamiento no depende del contenido energético del condensado, sino sólo del estado físico del fluido (líquido o vapor). Es decir, en el mejor de los casos, la trampa abre ante la afluencia de condensado, cualquiera que sea su contenido energético, y cierra ante la presencia de vapor; en otros casos, la trampa cierra sólo después de perder cierta cantidad de vapor vivo (vapor de control).

Desde la aparición de la placa de orificio, primera trampa de vapor de la historia, han ido apareciendo sucesivos diseños de trampas tratando de mejorar sus prestaciones.

#### 3.2 CLASIFICACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

Todas las trampas de vapor tienen en común su sensibilidad a cambios de estado; no obstante se diferencian entre sí por el modo de captar los cambios de estado. Considerando su principio de funcionamiento las trampas de vapor pueden clasificarse del modo siguiente:



Las trampas de vapor sensibles a cambios de densidad se basan en la flotabilidad de una boya, cerrada o abierta, que acciona una válvula en dependencia con el nivel alcanzado por el condensado en el interior de la trampa.

El grupo de trampas de vapor sensibles a la velocidad de paso de fluido se basan en la gran diferencia de volúmenes específicos del vapor y del condensado. Así, la velocidad de paso del vapor a través de un orificio es muy superior a la velocidad de paso del condensado; este hecho se traduce en diferencias de presión que son utilizadas para controlar la apertura y cierre de la trampa de vapor.

Considerando el diseño de su válvula las trampas de vapor pueden clasificarse en:

- » Válvula de presión diferencial
- » Válvula de presión equilibrada
- » Válvula pilotada

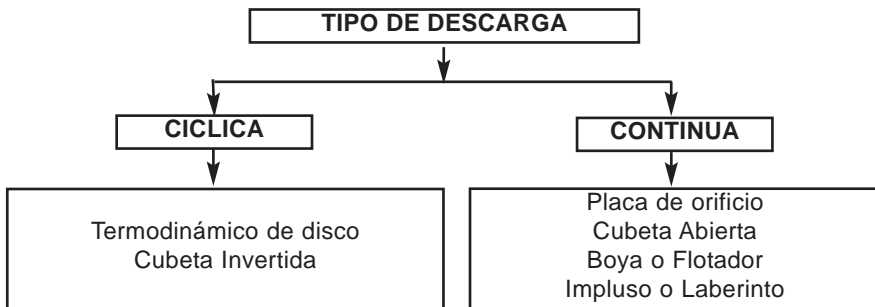
El obturador de la válvula de presión equilibrada está inmerso en un campo uniforme de presión de modo que la resultante de fuerzas sobre el obturador es nula. Por ello, la válvula de presión puede actuar con independencia de la contrapresión existente en la descarga de la trampa. Este tipo de válvula sólo se aplica en cierto tipo de trampas de flotador.

En el caso de la válvula de presión diferencial, sobre su obturador actúa siempre la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida, siendo éste un dato que debe ser tenido muy en cuenta al dimensionar la trampa de vapor.

En el caso de la válvula pilotada, una pequeña válvula comanda la acción de otra válvula principal. Las trampas con válvula pilotada se utilizan raras veces para evacuar grandes caudales o bajo condiciones de presión diferencial extrema.

### 3.3 TRAMPAS DE DESCARGA CÍCLICA Y CONTINUA

Atendiendo a su forma de trabajo las trampas de vapor se clasifican así:



Nótese que la producción de condensado en un proceso industrial se produce de manera continua, sin fluctuaciones bruscas, esta hace pensar que los sistemas de descarga continua ofrece ventajas frente a los sistemas de descarga cíclica.

La capacidad de evacuación en las trampas de descarga continua se ajusta automáticamente en todo momento a la producción de condensado; se establece así un equilibrio dinámico que evita oscilaciones de presión bruscas en el sistema de retorno de condensado.

Por el contrario, en el caso de descarga cíclica la trampa debe sobredimensionarse para compensar en la parte activa del ciclo la pérdida de capacidad en la parte pasiva del ciclo. La descarga intermitente provoca oscilaciones de presión y contrapresión que pueden afectar a otras trampas y producir fuertes golpes de ariete.

En un sistema cíclico es normal la existencia de pérdidas de vapor vivo antes de producirse el cierre de la trampa. Cuando abre, un sistema cíclico debe eliminar rápidamente el condensado acumulado; esto provoca un descenso de presión delante del elemento y, con ello, un pequeño descenso de temperatura. Al mismo tiempo en la descarga se produce un aumento de contrapresión, disminuyendo la presión diferencial que actúa sobre la trampa.

Resumiendo, las ventajas evidentes de un sistema de descarga continuo frente a otro cíclico son:

- » Equilibrio entre producción y evacuación de condensado
- » Funcionamiento mas suave de la instalación
- » Mayor rendimiento energético
- » Mejor control del funcionamiento del sistema
- » Mejor control de fugas de vapor
- » Menor acoplamiento de la red, mayor presión diferencial en el sistema

### **3.4 PLACA DE ORIFICO**

Puede considerarse la primera trampa de vapor de la historia. Es muy simple (figura 3.1), se trata de una placa metálica con un orificio calibrado de acuerdo con el caudal de condensado a evacuar.

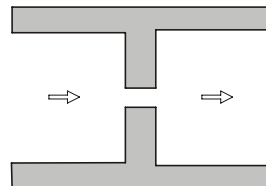


Figura 3.1



En realidad la placa de orificio no puede considerarse una verdadera trampa de vapor, pues no se trata de una válvula sino de orificio fijo que crea una pérdida de carga creciente con el caudal o con el cambio de estado del fluido (líquido-vapor).

El paso de vapor vivo a gran velocidad a través del orificio produce una pérdida de carga que frena parcialmente la corriente disminuyendo en cierto grado las grandes pérdidas de vapor que este tipo de aparato puede presentar si no está bien dimensionado.

Las ventajas de este elemento son:

- » Sencillez máxima
- » Amplio rango de presión
- » Escaso mantenimiento

Sus desventajas son evidentes:

- » Dimensionado muy crítico
- » Escasa flexibilidad
- » Grandes pérdidas de vapor vivo
- » Incremento de contrapresión en el colector de condensado

### 3.4 TRAMPA DE BOYA CERRADA

Fue el primer elemento automático de purga utilizado en la industria y básicamente se trata de una válvula de regulación de nivel de líquido (figura 3.2)

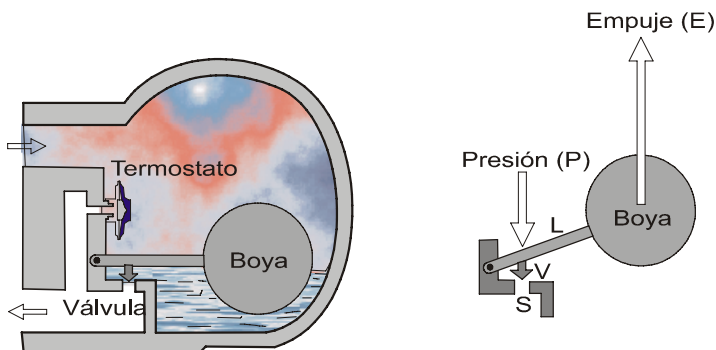


Figura 3.2

Su mecanismo está constituido por una palanca de longitud (L), articulada en uno de sus extremos, y una boya cerrada o flotador en el otro extremo, que proporciona un empuje (E). En un punto intermedio se sitúa el obturador de una válvula (V) de área (S). El nivel de líquido acciona la apertura y cierre de la válvula.

El obturador está sometido por un lado a la acción del empuje (E), transmitido desde la boya, y por otro lado a la presión diferencial de servicio. Por tanto, para que la válvula sea funcional debe existir en todo momento una reserva de empuje de apertura (E) capaz de abrir la válvula cuando está sometida a la máxima presión diferencial de cierre. Es decir:

$$E \times L > P \times S$$

Por esta razón en estos equipos es siempre necesario tener en cuenta el área del orificio de descarga y la presión diferencial máxima de trabajo. Para evacuar grandes caudales se necesitará orificio de gran sección de paso lo que exige un aumento del tamaño de la boya o de la longitud del brazo de palanca y, por consiguiente, del tamaño de la trampa.

Para evacuar incondensables suelen incorporar un desaireador termostático ya sea de cápsula, fuelle o bimetálico, o bien una pequeña válvula de desaireación manual. El termostato debe ser bimetálico si trabajan con vapor recalentado. Algunos sustituyen el desaireador automático por un pequeño orificio interno a modo de by-pass que tiene como inconveniente una constante pérdida de vapor vivo.

Para dimensionar una trampa de flotador es necesario considerar los siguientes aspectos:

- » Presión diferencial máxima. No debe exceder la indicada por el fabricante.
- » Presión diferencial mínima. Debe permitir evacuar el máximo caudal de operación en arranque y en régimen continuo.
- » Presión máxima de servicio. Valor máximo indicado por el fabricante
- » Tipo de venteo requerido

Estas trampas suelen disponer de una palanca externa para levantar la boya y abrir su válvula interna en caso de necesidad, pero debe advertirse que dicha palanca no es en modo alguno un mecanismo de ajuste externo de caudal, sino un elemento que anula el flotador convirtiéndolo en un by-pass abierto.

Un tipo particular de este tipo de trampa es la de flotador libre. En ella la boya no está rígidamente unida a ningún elemento sino que flota libremente en su interior. La válvula está ubicada en la parte baja del cuerpo y el cierre lo produce la propia boya al descender a su posición más baja, cerrando el orificio de descarga.

El rango de presión diferencial de la trampa de boya libre es más reducido que el correspondiente al de boya convencional debido a que el empuje de la boya no está amplificado por el efecto de palanca.

Las ventajas características de las trampas de flotador son:

- » Soportan fuertes variaciones de caudal y de presión diferencial
- » Evacuación continua de condensado a temperatura de saturación
- » Descargan con facilidad condensados sucios y aceitosos

Sus desventajas principales son:

- » Son voluminosos, pesados y costosos. Mayor pérdida indirecta de vapor
- » Su posición de montaje es fija
- » Carecen de filtro y válvula de retención
- » Son sensibles a heladas y a golpes de ariete
- » No admiten variación de su temperatura de descarga

### **3.5 TRAMPA DE CUBETA INVERTIDA**

Esta trampa utiliza el mismo principio físico que la trampa de boya pero, a diferencia de ella, la válvula (V) es accionada por un flotador con forma de campana cilíndrica invertida con un pequeño orificio (D) en su parte superior (figura 3.3).

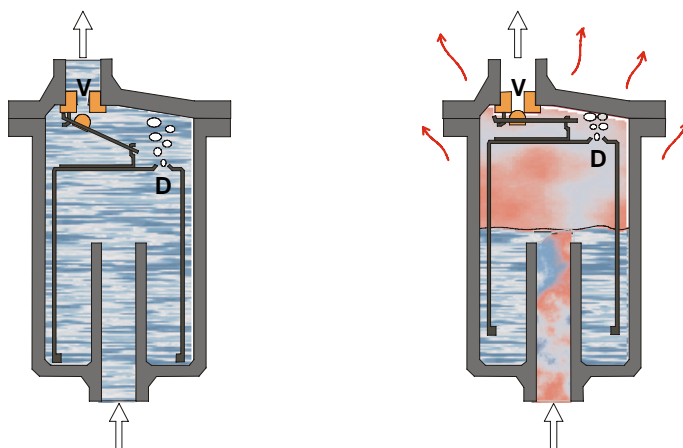


Figura 3.3

El funcionamiento de la trampa se explica en la figura 3.4:

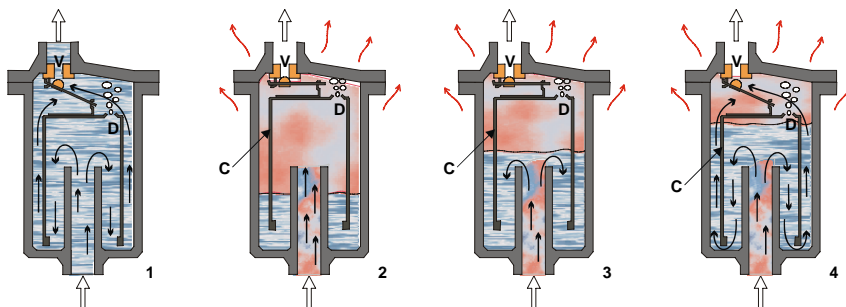


Figura 3.4

1. La cubeta invertida reposa en el fondo y la válvula (V) permanece abierta permitiendo evacuar condensado e incondensables.
2. A medida que llega vapor a la trampa, éste va desalojando el condensado del interior de la cubeta invertida, empujándolo hacia abajo; con ello, aumenta progresivamente el empuje hidrodinámico de la cubeta (C) hasta que finalmente ésta flota y cierra la válvula (V).
3. La cubeta invertida (C) tiene un pequeño orificio (D) en su parte superior, que tiene un importante papel en el funcionamiento de la trampa. A medida que la trampa cede calor con la atmósfera el vapor retenido entre la cubeta (C) y el cuerpo de la trampa va condensando, siendo sustituido por el vapor o incondensables retenidos en el interior de dicha cubeta; esto hace posible la llegada de más condensado a la trampa elevando el nivel del mismo en el interior de la cubeta invertida (C); su llenado paulatino reduce su empuje de flotación mientras continúa el proceso.
4. El peso de la cubeta invertida (C) supera su empuje de flotación y ésta cae, volviendo al paso 1.

Por tanto, la descarga de este tipo de trampa es intermitente y precisa la existencia permanente de un sello hidráulico en su parte inferior para que la cubeta actúe como flotador. Si el vapor es recalentado o se produce una fuerte descompresión en la trampa el sello de agua puede perderse y producirse una gran fuga de vapor vivo; no obstante, con niveles bajos de recalentamiento puede evitarse tal circunstancia instalando una válvula de retención en la entrada de la trampa.

La desaireación automática en este tipo de trampas es lenta debido a que el orificio de desaireación (D) es pequeño para evitar mayores pérdidas de vapor vivo.

Igual que en las trampas de boya, en las de cubeta invertida también es crítico el tamaño del orificio de la válvula (V) y determina la máxima presión diferencial de trabajo de la trampa. Por consiguiente, al dimensionar este tipo de elementos deben respetarse las mismas indicaciones enumeradas en las trampas de boya.

Las ventajas características de la trampa de cubeta invertida son:

- » Sencillez, con pocas posibilidades de fallos mecánicos
- » Alta resistencia a golpes de ariete
- » Descargan con facilidad condensados sucios y aceitosos
- » Requieren poco mantenimiento

Sus desventajas principales son:

- » Son voluminosos, pesados y costosos. Mayor pérdida indirecta de vapor
- » Su posición de montaje es fija
- » Desaireación lenta.
- » Son sensibles a heladas
- » No admiten variación de su temperatura de descarga
- » Reparación costosa, generalmente no puede hacerse en línea
- » Sólo admiten ligero recalentamiento de vapor

### **3.6 TRAMPA TERMODINÁMICA DE DISCO**

Por su popularidad, esta trapa merece especial mención ya que ha sido la más ampliamente utilizada en el pasado y su utilización actual constituye una verdadera “trampa” desde el punto de vista económico debido a su escasa eficiencia energética.

Desde el punto de vista operativo el uso de trampas termodinámicas de disco es muy negativo pues sus pérdidas de vapor originan fuerte contrapresión local en colectores de retorno, afectando muy desfavorablemente al funcionamiento de toda la instalación.

Su diseño es muy simple, se compone de un cuerpo (A), una tapa (B) y un disco (C) (figura 3.5).

El cuerpo lleva dos asientos anulares concéntricos, uno interior (D) alrededor del orificio de entrada (E) y otro exterior (F). Entre ambos existe un canal semicircular

que comunica a través del orificio (S) con la salida del purgador. La tapa tiene un resalte (H) que sirve para facilitar la formación de una cámara de control entre el disco y la tapa cuando el disco está en la posición más alta (trampa abierta).

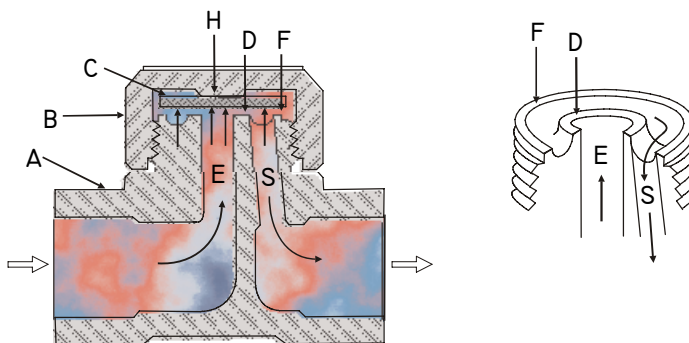


Figura 3.5

Su funcionamiento está basado en el principio de Bernoulli. Cuando la trampa está cerrada, el disco está en la posición más baja cerrando los dos asientos concéntricos, quedando la cámara de control estanca. Cuando arranca la instalación en frío la trampa descarga el condensado formado en la tubería. Una vez descargado el condensado llega vapor a la trampa; en este momento al pasar el vapor desde la entrada (E) hasta la salida (S) por debajo del disco la alta velocidad de paso genera un gran aumento de presión dinámica en la corriente fluida, que se traduce en una disminución de la presión estática debajo del disco (figura 3.6A) pues la suma de ambas, presión total, debe permanecer constante según el principio de Bernoulli.

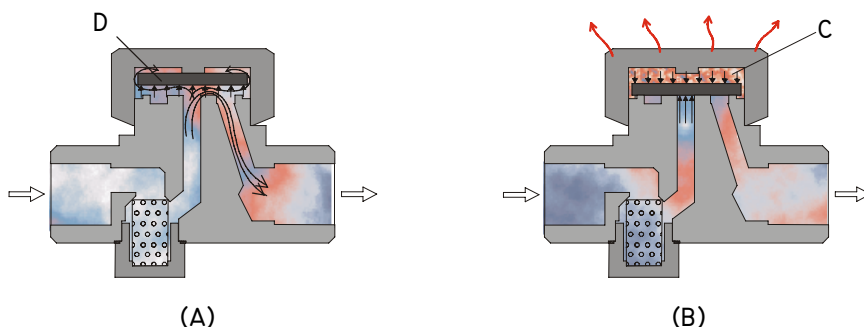


Figura 3.6

Al propio tiempo una pequeña cantidad de vapor llena la pequeña cámara de control que existe entre disco y tapa. El vapor en esta cámara de control se decelera y, según el principio de Bernoulli, se produce una elevación de presión estática en ella. Como consecuencia de todo ello el disco desciende violentamente contra el asiento de la trampa produciéndose su cierre. En esta posición la cámara de control y los orificios de entrada y de salida quedan aislados entre sí por el disco (figura 3.6 B)

En esta situación, el disco se encuentra sometido a un desequilibrio de fuerzas puesto que sus caras están sometidas a las siguiente fuerzas:

- a) Sobre toda la superficie de la cara superior del disco actúa la presión de la cámara de control en sentido de cierre.
- b) Sobre la cara inferior del disco, sólo en la pequeñas áreas coincidentes con los orificios (E) y (S) ocluidos por el disco, actúan las fuerzas de presión del vapor y de contrapresión de condensado, ambas en sentido de apertura.

En este desequilibrio de fuerzas de presión prevalece la fuerza de cierre hasta que la presión en la cámara de control desciende lo suficiente a causa de la condensación del vapor allí retenido, provocada por la transmisión de calor de la tapa de la trampa a la atmósfera. Entonces el disco abrirá de nuevo repitiendo el ciclo.

Es importante destacar que la trampa actúa como un temporizador de modo que su descarga se produce de modo cíclico en el tiempo que tarda en condensar el vapor retenido en la cámara de control, con independencia de la afluencia de condensado. Esto hace que en zonas frías o días lluviosos su ritmo de apertura se acelera de forma extraordinaria dando lugar a fuertes pérdidas de energía. Este hecho se comprueba fácilmente dejando caer unas gotas de agua sobre la tapa de la trampa. Para reducir pérdidas de energía en climas húmedos se instalan caperuzas de protección.

Advertir que a veces se describe erróneamente el funcionamiento de esta trampa, afirmando que el cierre se produce por efecto del vapor de expansión en el interior de la trampa. Esto no es correcto pues es el escape de vapor vivo, no vapor de expansión, el que genera el efecto de cierre al pasar a través de la trampa (ver ensayo experimental publicado en Petrogas, Septiembre 1979, pag. 43).

Las ventajas características de la trampa termodinámica de disco son:

- » Alto rango de presión
- » Construcción robusta y bajo precio
- » Insensibilidad a golpes de ariete y heladas
- » Admite vapor recalentado

Sus desventajas principales son:

- » Bajo rendimiento energético y pérdida cíclica de vapor, sobre todo en aplicaciones de pequeño caudal (purga de línea y traceado)
- » Incrementa la presurización de colectores de condensado
- » No admite contrapresión superior al 60 % en baja presión (80% en media y alta presión)
- » Muy sensible a condiciones climáticas adversas (lluvia y viento multiplican sus pérdidas de vapor)
- » Rápido deterioro del disco y/o asiento a causa de la violencia de cierre con creciente pérdida de vapor
- » Baja capacidad de desaireación
- » Sensible a fallos por ensuciamiento

Como puede apreciarse las desventajas de la trampa termodinámica de disco inciden reiteradamente en su excesivo consumo de energía, siendo una de las de menor rendimiento energético.

### 3.7 TRAMPA TERMODINÁMICA DE IMPULSO

El mecanismo de la trampa termodinámica de impulso está constituido por un obturador cilíndrico (P), que dispone de un orificio central (O) a lo largo de su eje de simetría, comunicando la entrada con la salida de la trampa (figura 3.7).

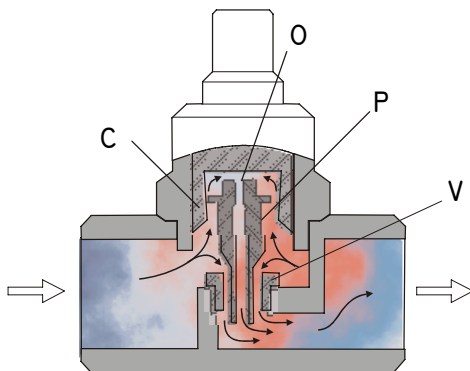


Figura 3.7



El obturador dispone de un ala circular horizontal próxima a su parte superior y puede desplazarse de arriba a abajo dentro de un cilindro cuya superficie interior es cónica (C). La parte inferior el obturador cierra el orificio de salida la válvula principal (V).

El condensado que llega a la trampa bordea el ala circular superior del obturador y pasa a través de su orificio central. Al pasar el condensado a través del estrechamiento producido por el ala horizontal del obturador se produce una pérdida de carga y como consecuencia se reduce la presión en la cámara de control superior, encima del obturador. De esta forma, la presión debajo del ala circular del obturador resulta mayor que la presión encima de dicho ala, produciéndose la elevación del obturador, es decir la apertura de la válvula principal (V).

Cuando llega vapor a la trampa el orificio central del obturador produce una mayor resistencia a su paso, debido al aumento de velocidad del flujo vapor respecto al flujo de condensado; esto hace que la presión en la cámara de control superior aumente y el obturador descienda, estrangulando la sección de paso de la válvula principal (V).

La sección libre de paso entre el obturador y el cilindro guía varía con el desplazamiento del primero a causa de la conicidad del segundo actuando a manera de tobera de sección variable. Esto da cierta flexibilidad a la trampa en respuesta a variaciones de caudal, resultando así un órgano de regulación ya que la sección libre de la válvula principal depende de la posición vertical que adopte en cada momento el obturador y ésta a su vez dependerá del caudal de condensado que acuda a la trampa.

Nótese que la posición de montaje de la trampa debe ser siempre vertical para no interferir el movimiento ascendente y descendente de su obturador.

Para conseguir mayor flexibilidad operativa la trampa suele disponer en su parte superior de un tornillo de ajuste que varía la posición del cilindro guía cónico para variar el volumen, y con ello, la presión en la cámara de control superior.

Evidentemente la trampa jamás cierra estanca al vapor a causa del orificio central del obturador y es precisamente esta fuga de vapor (vapor de control) la que hace posible el funcionamiento la trampa, detalle que debe tenerse en cuenta al inspeccionar este tipo de trampa mediante equipos de ultrasonido pues, como es lógico, el resultado detectará siempre existencia de fuga interna de vapor.

Las ventajas de este tipo de trampa son:

- » Pequeño y robusto.
- » Descarga de aire e incondensables.

- » Amplitud de rango de operación en presión y en caudal.
- » Puede utilizarse con vapor recalentado.

Las desventajas de este tipo de trampa son:

- » Pérdidas de vapor vivo y bajo rendimiento energético.
- » Aumento de contrapresión y golpes de ariete térmico en retornos.
- » Rápido desgaste de internos por erosión.
- » Sensibilidad frente a la contrapresión. No admiten contrapresión superior al 40 % de la de operación.
- » Sensibilidad frente a ensuciamiento que puede bloquear el purgador.

### **3.8 USO ACTUAL DE TRAMPAS DE VAPOR**

El uso de trampas de vapor ha ido decreciendo en el tiempo a medida que han ido apareciendo purgadores de creciente rendimiento energético.

La necesidad de reducir emisiones de CO<sub>2</sub>, hecho intimamente unido al incremento de eficiencia energética, ha inclinado la balanza definitivamente en favor del purgador de condensado, relegando el uso de trampas de vapor a ciertas aplicaciones minoritarias donde las exigencias del proceso recomiendan utilizar estos elementos.

Finalmente, la aparición del moderno purgador inteligente ha marcando una senda imparable hacia la utilización racional y el uso inteligente de la energía.

## CAPITULO 4

### PURGADORES DE CONDENSADO

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

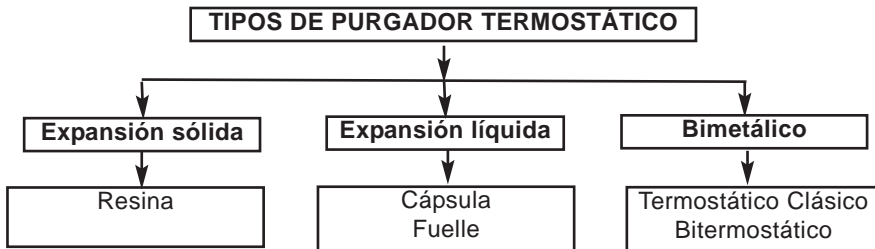
Como se mencionó en el capítulo 2, el *purgador* es un elemento mecánico de purga automática, que dispone de capacidad de regulación de temperatura de descarga de condensado.

Su funcionamiento depende exclusivamente del contenido energético del condensado y sus elementos de regulación no utilizan vapor de control para realizar su trabajo con elevada eficiencia energética.

Al contrario de lo que sucede en la trampa de vapor, en el purgador sus elementos internos no suelen estar en contacto directo con vapor y la velocidad de paso del condensado a través de su válvula es muy baja comparada con la de paso del vapor de control en una trampa; por ello la erosión soportada es mucho menor y, en consecuencia, la vida útil del purgador resulta muy superior a la correspondiente a la trampa de vapor.

#### 4.2 CLASIFICACIÓN DE PURGADORES

La relación directa entre el contenido energético del vapor saturado y la temperatura de saturación sugiere el empleo de elementos termostáticos para controlar la operación del purgador. Los tipos más comunes de purgador termostático son:



Considerando el diseño de su válvula los purgadores pueden clasificarse en:

- » Purgadores con válvula de presión diferencial
- » Purgadores con válvula de presión equilibrada

Atendiendo a su forma de trabajo los purgadores se clasifican en:

- » Purgadores de descarga cíclica
- » Purgadores de descarga continua

### **4.3 DESAIREACIÓN AUTOMÁTICA**

Una característica interesante común a todo purgador termostático es su capacidad de venteo o desaireación automática. En efecto, la mezcla de vapor y aire o gases incondensables, como toda mezcla de gases, cumple la ley de Dalton. Por ello, la presión total de la mezcla es la suma de presiones parciales de sus componentes.

Ahora bien, la temperatura de saturación del vapor en la mezcla es la correspondiente solamente a la presión parcial del vapor en ella.

Por tanto, un purgador termostático sometido a la acción de una mezcla de vapor e incondensables sentirá una temperatura inferior a la que sentiría si todo el fluido fuese vapor. Como resultado el purgador abrirá produciéndose el venteo automático de incondensables.

A medida que crece la proporción de vapor en la mezcla su temperatura aumenta y el termostato va cerrando progresivamente la válvula del purgador hasta que finalmente alcanzará el cierre cuando todos los incondensables hayan sido evacuados por completo.

En las trampas de vapor, el venteo automático se logra añadiendo un termostato interno; la figura 4.1 muestra una trampa de flotador cuya válvula de venteo (V) es accionada por el termostato (T). En ocasiones se prescinde del termostato y se utiliza el bypass interno como elemento de desaireación automática, aunque en este caso debería llamarse desaireación permanente pues en ausencia de incondensables conlleva fuga de vapor vivo de forma continua.

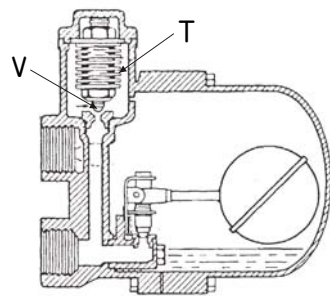


Figura 4.1

En el purgador, el hecho de controlar la evacuación del condensado mediante un termostato lleva simultáneamente implícita su característica de venteo automático.

#### 4.4 PURGADOR TERMOSTÁTICO DE EXPANSIÓN LÍQUIDA

Está constituido por termostato (T) construido mediante una cápsula o un fuelle de acero inoxidable, hastelloy u otro material resistente a la corrosión (Figura 4.1) que actúa sobre el cono (C) de válvula (V).

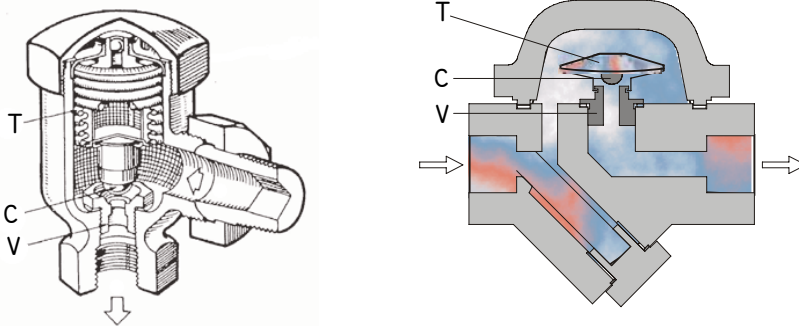


Figura 4.2

El interior de la cápsula o fuelle generalmente contiene una mezcla azeotrópica de agua y alcohol; así se consigue que la curva de saturación de la mezcla siga una curva de saturación paralela a la del agua pero solo unos grados inferior a ella, definidos por la proporción de alcohol en la mezcla.

Su funcionamiento es muy simple, en presencia de vapor, o condensado a temperatura muy próxima a la del vapor, el líquido dentro del termostato (T) se evapora y éste se dilata empujando al cono (C) que cierra la válvula (V) del purgador.

En presencia de condensado subenfriado por debajo del punto de saturación del fluido del termostato, dicho líquido condensa el termostato se contrae abriendo la válvula del purgador.

Las ventajas características de los purgadores de termostato líquido son:

- » Gran capacidad de evacuación
- » Precisión y rapidez de respuesta
- » Funcionamiento en cualquier posición
- » Desaireación automática
- » Insensibilidad al ensuciamiento
- » Resistencia a heladas

- » Admiten alta contrapresión
- » Siguen la curva de saturación del vapor

Sus desventajas principales son:

- » Fragilidad del elemento termostático
- » Baja resistencia a golpes de ariete y al vapor recalentado
- » Alto coste de mantenimiento (repuestos costosos y de corta duración)

#### 4.5 PURGADOR TERMOSTÁTICO BIMETÁLICO CLÁSICO

Están constituidos por un termostato de láminas bimetálicas (T) que reaccionan frente a las diferencias de temperatura del condensado transmitiendo su movimiento al obturador (O) de la válvula (V) del purgador (Figura 4.3)

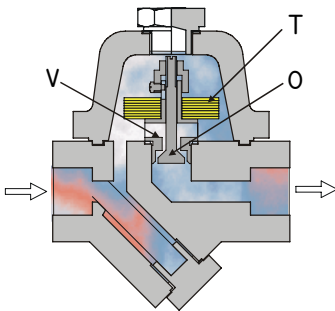


Figura 4.3

Es un purgador muy robusto y versátil, pues posibilita ajustar la temperatura de descarga al valor idóneo al servicio a prestar o para optimizar el rendimiento energético de la red de vapor.

Su funcionamiento es el siguiente: cuando llega condensado frío al purgador las láminas bimetálicas se relajan permitiendo el movimiento de apertura del obturador que es presionado en ese sentido por la propia presión del fluido.

A medida que el condensado va elevando su temperatura se van curvando las láminas bimetálicas que actúan por parejas, una contra otra, tirando del obturador en sentido de apertura sobre el que actúa la presión en sentido opuesto. La posición del obturador, y por tanto la apertura de la válvula, depende continuamente del equilibrio de fuerzas de apertura (térmicas) y de cierre (presión).

Cuando la temperatura se aproxima hasta unos grados por debajo de la correspondiente a la saturación del vapor el obturador cierra herméticamente; el punto de cierre depende del ajuste dado al termostato, que puede ser variado por el usuario.

Nótese que el cierre se produce en el lado de salida del purgador, donde se inicia la formación de vapor de expansión y la velocidad de paso del fluido es elevada y. Por ello, el cono de cierre del obturador esta sometido a intensa acción erosiva que reduce la vida del purgador. Para disminuir este efecto algunos fabricantes han diseñado la válvula en forma de tobera escalonada tratando de distribuir en varias etapas el salto de presión que se produce entre la entrada y la salida del purgador de modo que se reduzca el efecto erosivo citado.

Notar que aunque las láminas bimetálicas actúan como un muelle, en realidad no son un muelle. Su deformación es una propiedad intrínseca del bimetal, que adopta un estado de curvatura en dependencia de la temperatura. La zona de trabajo del bimetal se mantiene en todo momento en la zona elástica del material, lejos de la zona plástica, para evitar deformaciones permanentes.

Cada lámina bimetálica está constituida por dos capas metálicas de aleaciones con distinto coeficiente de dilatación y alto contenido en Cr y Ni para evitar su corrosión. Por ello, la duración de las láminas bimetálicas es siempre muy superior a la del resto de componentes del purgador.

La válvula de este tipo de purgador es de tipo de presión diferencial y en el lado de salida una cámara anular donde el condensado expansiona, dando lugar a una fuerza de presión adicional de apertura que incrementa la presión diferencial que actuaba inicialmente sobre el obturador. Esto reduce la histéresis térmica del bimetal a costa de incrementar la acción erosiva de la mezcla de condensado y revaporizado sobre el cono del obturador.

Las ventajas características del purgador bimetálico clásico son:

- » Elevada fiabilidad, versatilidad y alto rendimiento energético
- » Descarga continua y amplio rango de presión
- » Gran robustez y resistencia a golpes de ariete
- » Insensibilidad a condensados corrosivos y heladas
- » Desaireación automática y gran capacidad de arranque en frío
- » Admiten vapor recalentado
- » Funcionamiento en cualquier posición

Sus desventajas principales son:

- » Sensibilidad al ensuciamiento
- » Lenta respuesta a cambios bruscos de presión o de régimen

#### 4.6 PURGADOR BI-TERMOSTÁTICO BIMETÁLICO

Es el más moderno de los purgadores bimetálicos y se caracteriza por incorporar dos termostatos bimetálicos antagonicos y una válvula de presión equilibrada.

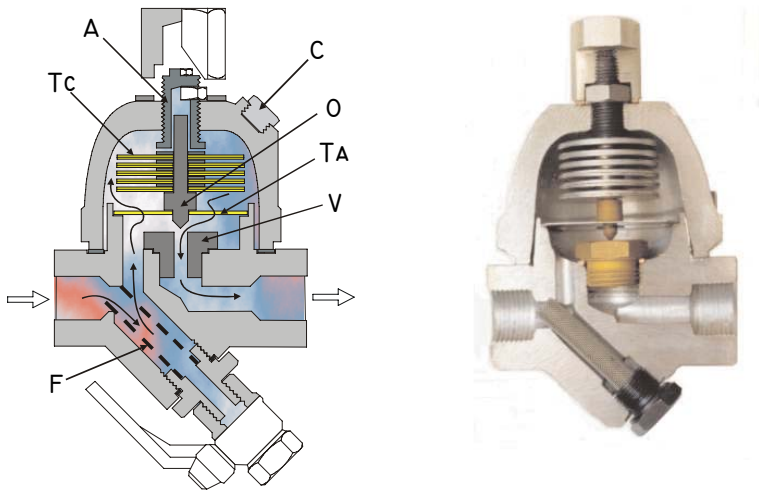


Figura 4.4

Como se observa en la figura 4.4 el regulador interno del purgador está formado por los siguientes elementos: un termostato superior constituido de varias parejas de láminas bimetalicas (termostato de cierre Tc), un termostato inferior unilamina (termostato de apertura TA), un obturador cilíndrico-cónico (O), asiento de válvula (V) y mecanismo de ajuste externo (A).

El purgador incorpora conexión (C) para sistema de monitorización SmartWatch, filtro (F) tipo “Y”, que puede ser opcionalmente equipado con válvula de drenaje y prueba, y tapón superior removible para ajuste externo en marcha del purgador.

Notar que el termostato superior (Tc) tiene restringido su movimiento vertical ascendente por el mecanismo de ajuste (A), por tanto, al dilatar desplaza el obturador (O) en sentido vertical descendente. La lámina termostática inferior (TA), rectangular con dos lados opuestos de forma circular, está simplemente apoyada en sus bordes circulares de forma que, como se indica en la figura no impide el paso



de fluido hacia el termostato superior, manteniéndose ambos termostatos siempre inmersos en el condensado a evacuar; dicha lámina (TA) al dilatar se curva hacia abajo permitiendo el desplazamiento vertical descendente del obturado (O).

Su funcionamiento se describe a continuación:

Cuando llega condensado frío el termostato superior (TC) está contraído y la lámina termostática inferior (TA) está plana manteniendo totalmente abierta la válvula (V), de esta forma el condensado no tiene obstáculo para ser evacuado.

A medida que aumenta la temperatura del condensado el termostato inferior (TA) va curvándose hacia abajo, permitiendo el movimiento descendente del obturador (O), y el termostato superior va expandiéndose, empujando al obturador (O) hacia abajo; como resultado el obturador (O) se va aproximando al orificio de la válvula (V), estrangulando la salida de condensado.

Cuando la temperatura del condensado alcanza el valor de operación ajustado en el purgador el obturador (O) cierra por completo la válvula (V).

Al descender ligeramente la temperatura del condensado, el termostato superior (TC) se contrae ligeramente liberando parcialmente la fuerza de cierre, al mismo tiempo el termostato inferior (TA) reduce ligeramente su deformación desplazando hacia arriba el obturador (O), que abre la válvula (V).

Teniendo en cuenta que la afluencia de condensado es un proceso continuo, las pequeñas variaciones de su temperatura mantienen un equilibrio dinámico entre ambos termostatos, que modulan la descarga del purgador ajustando su capacidad a la producción de condensado en la línea. Así, el purgador se acopla perfectamente a las condiciones del proceso de formación de condensado evitando descargas bruscas e intermitentes, que suelen causar golpes de ariete en las redes de condensado. De otra parte al controlarse la temperatura de descarga del purgador se reduce la formación de vapor de expansión y con ello el aumento de contrapresión en el colector, evitándose la causa mas grave y frecuente de mal funcionamiento en redes de condensado.

El punto de equilibrio dinámico citado, o punto de trabajo del purgador, se ajusta fácilmente mediante el mecanismo externo de ajuste (A), sin necesidad de cortar el vapor ni interrumpir el funcionamiento del purgador.

Nótese que tanto el obturador como ambos termostatos se encuentran totalmente inmersos en el fluido por lo que la resultante de fuerzas de presión sobre ellos es nula, es decir, se trata de una válvula de presión equilibrada y, por tanto, la capacidad de funcionamiento y regulación del purgador no está afectada por variaciones de presión diferencial ni por contrapresión, además todos sus elementos internos están sometidos a esfuerzos mucho menores que en el purgador bimetálico clásico.

El termostato inferior desempeña una importante misión durante el arranque en frío del purgador; en efecto, en el régimen transitorio debido a la inercia térmica de ambos termostatos el obturador puede llegar a cerrar ante la elevación excesiva de temperatura del condensado. Una vez cerrada la válvula (V), sobre el obturador actuarían fuerzas de presión que impedirían la posterior apertura de dicha válvula, pero al descender ligeramente la temperatura del purgador por transmisión de calor con el exterior el termostato inferior (TA) entra en acción y despega el obturador (O) de la válvula (V), restableciendo el equilibrio de fuerzas en el obturador y el funcionamiento del purgador. Esta situación de corta duración sólo se produce en arranques en frío durante el régimen transitorio.

El purgador bi-termostático dispone de cuatro mecanismos antibloqueo que le hacen insensible frente al ensuciamiento:

- » Filtro en “Y”, opcionalmente con válvula de limpieza y prueba para soplado y comprobación en servicio.
- » Válvula de paso total que impide cualquier obstrucción.
- » Arandela distanciadoras de 1 mm entre parejas de láminas bimetálicas para eliminar efecto de agarrotamiento del paquete bimetálico por cebado de partículas entre láminas.
- » Mecanismo de ajuste externo que permite un eventual soplado interno con vapor del purgador, sin interrumpir su servicio.

En definitiva el purgador bi-termostático reúne suficientes características para ser considerado actualmente uno de los purgadores más robustos, versátiles, eficientes, fiables y de menor coste de mantenimiento.

Las ventajas características del purgador bi-termostático bimetálico son:

- » Elevada fiabilidad, versatilidad y alto rendimiento energético
- » Mecanismo de ajuste externo en marcha, muy bajo coste de mantenimiento
- » Descarga continua y amplio rango de presión
- » Gran robustez, muy larga duración y resistencia a golpes de ariete
- » Insensibilidad a condensados sucios, corrosivos y heladas
- » Desaireación automática y gran capacidad de arranque en frío
- » Soporta vapor fuertemente recalentado y muy elevada contrapresión
- » Funcionamiento en cualquier posición (obturador guiado en dos puntos)

Sus desventajas principales son:

- » Presentan un pequeño retardo a cambios bruscos de presión o de régimen (no es un problema importante ya que las condiciones de servicio no sufren alteraciones bruscas en la inmensa mayoría de aplicaciones).

#### 4.7 BIMETÁLICO CLÁSICO vs. BI-TERMOSTÁTICO BIMETÁLICO

Aunque ambos tipos de purgadores ya han descrito en los apartados 4.5 y 4.6, dado que las diferencias entre ambos tienen fuerte repercusión en las áreas operativa, energética y de mantenimiento, a continuación se analizan aquellas que tienen mayor relevancia:

La primera diferencia sustancial se encuentra en el tipo de válvula:

El purgador bimetalico clásico utiliza válvula de presión diferencial mientras el bi-termostático bimetalico incorpora válvula de presión equilibrada (figura 4.5)

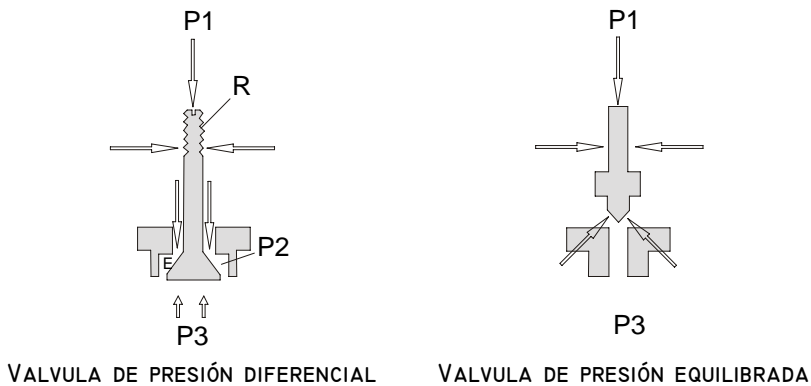


Figura 4.5

En la figura de la izquierda se observa que el obturador cónico cierra la válvula en su cara inferior, es decir, en lado de salida; además está sometido a diferentes fuerzas de presión (P1, P2 y P3) dependiendo de la zona considerada; las fuerzas de presión variables P2 son generadas por el condensado en la cámara de expansión anular (E) sobre el cono de la válvula y su magnitud depende del grado de expansión. La resultante de fuerzas de apertura o presión diferencial sobre el obturador es  $P1 + P2 - P3$ ; esta presión diferencial limita el rango de utilización del purgador.

Debido al aumento de volumen del revaporizado, la mezcla de condensado y vapor de expansión en la cámara anular (E) fluye a elevada velocidad sometiendo al cono del obturador a una intensa acción erosiva.

Por el contrario, en la válvula de presión equilibrada (figura de la derecha) el obturador cónico cierra la válvula en su cara superior, es decir, en lado de entrada; además está completamente sometido a una presión uniforme  $P_1$ , en una zona donde no existe revaporizado y, por tanto, donde la velocidad del fluido es baja y la acción erosiva del condensado sobre el cono es pequeña. En consecuencia la vida útil del purgador bi-termostático resulta del orden de tres veces mas larga que la del bimetalico clásico.

Al ser nula la resultante de las fuerzas de presión sobre su obturador, el purgador bi-termostático admite contrapresiones elevadísimas.

A diferencia del obturador del bimetalico clásico, el obturador del bi-termostático carece de zona roscada evitando así la fragilidad y rotura de ese elemento.

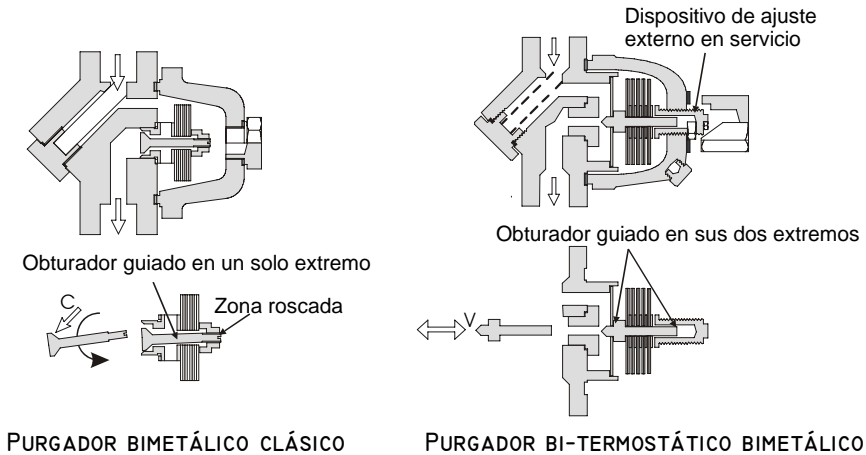


Figura 4.6

En el purgador bimetalico clásico el termostato ejerce sobre el obturador fuerzas de cierre que se oponen en todo momento a las fuerzas de presión que actúan en sentido contrario sobre el obturador.

En el purgador bi-termostático ninguno de sus termostatos se hallan sometidos a fuerzas de presión. Esto confiere a este purgador un rango de presión de trabajo mucho mayor y una duración muy superior.

Existen purgadores de presión equilibrada donde el termostato inferior ( $T_A$ ) se sustituye por un muelle pero, a diferencia de éste que proporciona una fuerza proporcional a la deformación, la ventaja del termostato bimetalico es proporcionar una fuerza proporcional a la temperatura en todo el rango de servicio.

La figura 4.6 muestra diferencias de guiado; en el bimetálico clásico el obturador está guiado en un sólo extremo mientras en el bi-termostático es guiado en ambos. Esto hace que, aunque ambos purgadores pueden trabajar en cualquier posición, en el diseño clásico el obturador queda sometido a desgastes asimétricos cuando se instala en posición horizontal.

Aunque la reparación del purgador bi-termostático generalmente consiste en un simple ajuste externo para compensar posibles desgastes del cono de válvula. No obstante, a diferencia del purgador bimetálico clásico cuya reparación exige la sustitución del regulador bimetálico completo, si fuese necesario, el bi-termostático permite reemplazar cualquiera de sus elementos internos ya que todos ellos son independientes (figura 4.6) y pueden ser sustituidos por separado, reduciendo extraordinariamente costes de mantenimiento.

La mera inspección del estado de desgaste de la válvula resulta imposible en un purgador bimetálico clásico sin desmontar el propio regulador. Por el contrario, en el bi-termostático una vez retirada la tapa quedan visibles todos sus elementos, sin necesidad de utilizar herramientas ni remover el ajuste del purgador, pues éste permanece en el tornillo de regulación anclado en la tapa.

Para concluir observar que, como es lógico, el sentido de paso en un purgador está indicado en su propio cuerpo y no debe ser invertido pues el purgador quedaría bloqueado. Pero si, por error, esto ocurre el purgador bi-termostático resulta tan seguro que seguirá aún funcionando este caso, aunque el cierre de su válvula se producirá desde el lado de salida, es decir, como se haría en el purgador bimetálico clásico con la diferencia de que el termostato ahora estaría situado en la salida del purgador.

#### **4.8 ESTACIÓN DE PURGA COMPACTA TVS (Trap Valve Station)**

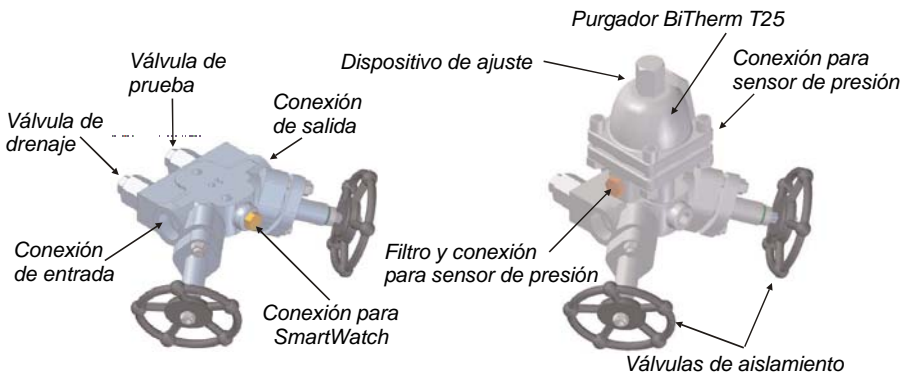
La estación de purga compacta es un elemento muy utilizado en nuevos proyectos por sus reducidas dimensiones, bajo de coste y simplificación de montaje.

De modo genérico una TVS (figura 4.7) está constituida por combinación de todos los elementos que forman una estación de purga clásica, es decir:

- » Válvulas de aislamiento de entrada y salida
- » Válvula de drenaje
- » Válvula de prueba
- » Conexión universal
- » Purgador (o trampa de vapor) con conector universal

Las estaciones de purga compacta Bitherm, incorporan elementos adicionales, que introducen significativas mejoras en sus prestaciones, tales como:

- » Conexión para dispositivo de monitorización SmartWatch
- » Filtro en “T”
- » Conexión para sonda de presión de entrada
- » Conexión para sonda de presión de salida
- » Mecanismo de ajuste externo en marcha



ESTACIÓN DE PURGA BiTherm TVS

ESTACIÓN DE PURGA BiTherm TVS-T25

Figura 4.7

Las válvulas de aislamiento en la TVS son de tipo pistón, que presentan dos claras ventajas frente a válvulas de globo: mínima sensibilidad a partículas sólidas y deslizamiento del pistón, sin giro, evitando que la suciedad se deposite entre los anillos y dañe las superficies de sellado, garantizando larga duración sin fugas.

## CAPITULO 5

### PURGADORES Y VÁLVULAS INTELIGENTES

#### 5.1 PURGADOR INTELIGENTE

El purgador inteligente (figura 5.1) está formado por un purgador bi-termostático de presión equilibrada con mecanismo de ajuste externo en marcha, que incorpora externamente el sistema electrónico de monitorización SmartWatch, controlado por microprocesador.

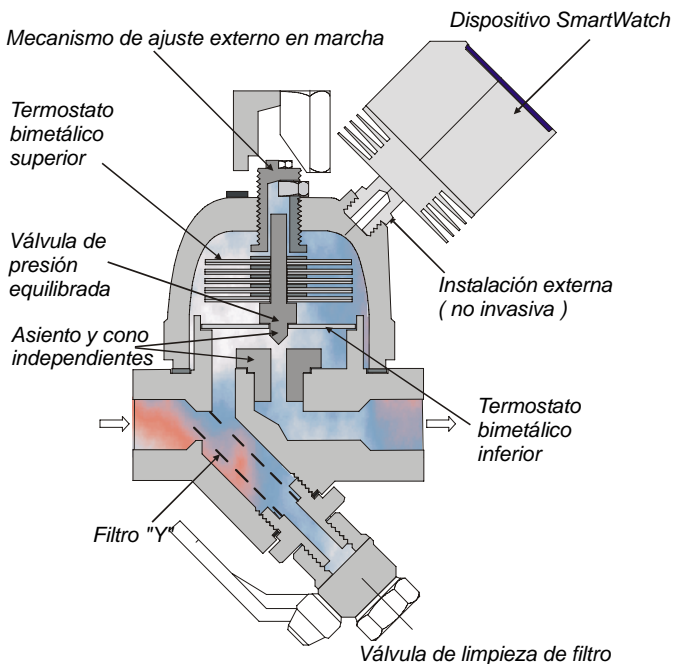


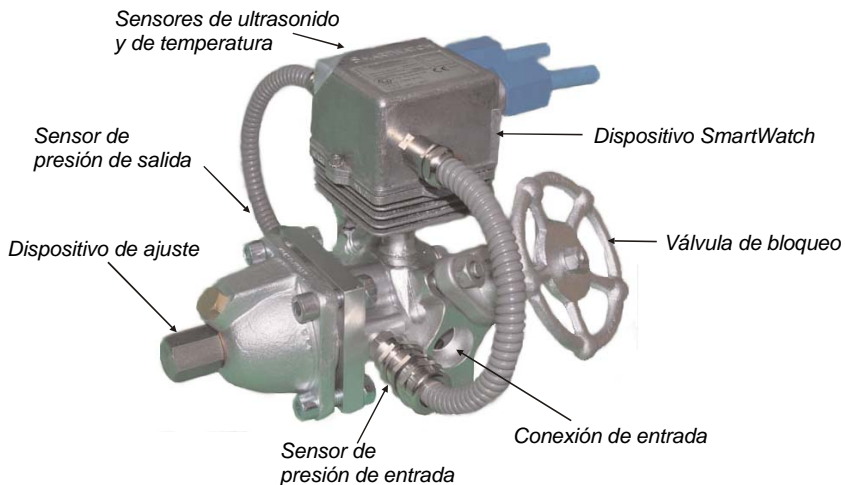
Figura 5.1

La experiencia demuestra que el correcto ajuste del punto de trabajo del purgador (punto 2 de la curva en la figura 2-2) elimina muchos problemas operativos en redes de vapor y condensado al tiempo que minimiza el consumo de vapor. Pues bien, el sistema de monitorización incorpora dos sensores (ultrasonido y temperatura) que, de forma no invasiva, mantienen una continua vigilancia del punto de trabajo del purgador, identificando la aparición de fugas internas o externas de vapor, obstrucción o bloqueo, temperatura inapropiada o baja eficiencia energética. Adicionalmente dispone de dos canales auxiliares para sondas de presión que, colocadas en algunos purgadores distribuidos convenientemente a lo largo de la instalación, sirven para conocer los mapas de presión y de contrapresión de las redes de vapor y de condensado, y prevenir la aparición de problemas operativos.

Aunque el sistema de monitorización puede ser incorporado a cualquier tipo de purgador su máximo potencial se obtiene utilizando purgador bi-termostáticos, pues cualquier incidencia detectada por el sistema puede ser corregida de forma inmediata mediante su sistema de ajuste externo del purgador, sin necesidad de interrumpir el servicio ni de realizar costosas reparaciones.

## 5.2 ESTACIÓN DE PURGA INTELIGENTE

Al igual que el purgador, la estación compacta de purga (TVS) puede convertirse en inteligente simplemente añadiendo el sistema de monitorización SmartWatch.



ESTACIÓN DE PURGA INTELIGENTE "BiTHERM ITVS"

Figura 5.2



Como muestra la figura 5.2 la estación de purga inteligente BiTherm ITVS dispone de todas conexiones necesarias para monitorizar los cuatro parámetros del sistema SmartWatch (ultrasonido, temperatura, presión y contrapresión); de esta forma es posible monitorizar la red de vapor y condensado sin necesidad de realizar picajes posteriores en las tuberías.

Advertir que para obtener mapas de presión de la red de vapor y condensado sólo es preciso utilizar sondas de presión en un pequeño número de estaciones de purga distribuidas convenientemente a lo largo de la instalación.

Aunque en nuevos proyectos inicialmente no se contemple la posibilidad de monitorización, la utilización de estaciones de purga monitorizables BiTherm aporta un gran valor añadido al proyecto al posibilitar esta opción futura con reducción de costes adicionales.

### **5.3 DESCRIPCIÓN Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA SMARTWATCH**

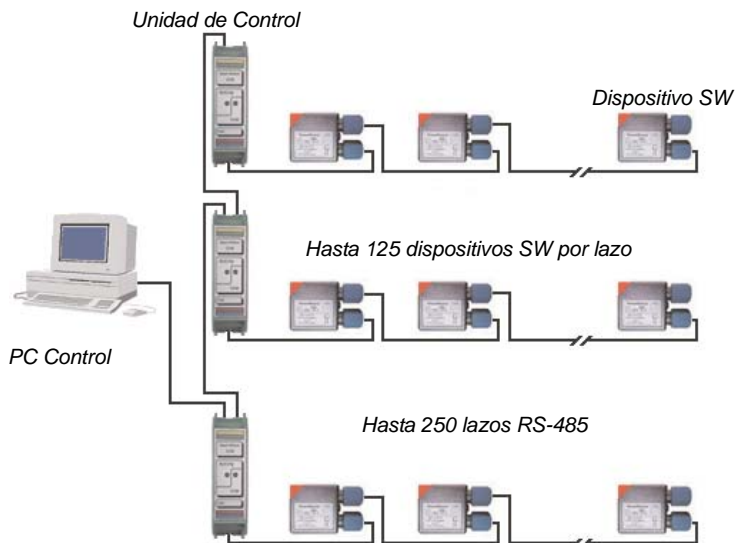
SmartWatch es un sistema digital de monitorización basado en microprocesador, con una estructura jerarquizada de dispositivos, que intercambian información bidireccionalmente a través de buses de campo. Dichos dispositivos electrónicos se estructuran en tres niveles básicos:

- » En el nivel más bajo del sistema se encuentran los dispositivos de campo que incorporan o se conectan a los sensores correspondientes.
- » El segundo nivel está formado por unidades de control o concentradoras, que recogen la información de los dispositivos de campo y la transmiten al nivel inmediatamente superior.
- » El tercer nivel es el centro de control donde se gestiona toda la información.

Dependiendo del medio físico de comunicación utilizado el sistema admite dos posibles opciones:

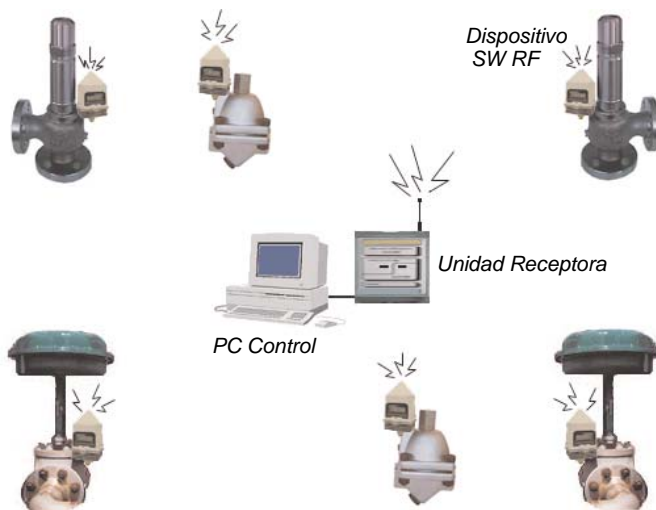
- » Bus de campo cableado RS-485 (figura 5.3)
- » Red inalámbrica o wireless (figura 5.4)

El bus cableado puede cubrir una distancia de 1200 mt. (limitación impuesta por la especificación RS-485, que puede verse ampliada ubicando convenientemente las unidades de control o instalando amplificadores de señal) y admite un máximo de 125 dispositivos de campo de cuatro canales por dispositivo, es decir 500 sensores. El alcance de la red inalámbrica depende mucho del entorno, pero ubicando convenientemente las unidades concentradoras que, a su vez actúan como repetidoras, puede cubrir distancias de varios kilómetros en entornos industriales.



PLATAFORMA WINDOWS PC CON BUS DE CAMPO CABLEADO RS-485

Figura 5.3



RED INALÁMBRICA SMARTWATCH (WIRELESS)

Figura 5.4

La comunicación bidireccional entre elementos del sistema es de tipo half duplex y se realiza mediante protocolos estándar abiertos (MODBUS RTU, TCP/IP, etc). La gestión del sistema se realiza mediante una interfaz gráfica muy intuitiva.

Atendiendo al modo de implementación del centro de control, el sistema puede instalarse en dos plataformas diferentes:

- » Sistema local SmartWatch (SW) en plataforma Windows PC (figura 5.3)
- » Sistema remoto SmartWatchWeb (SWW) en plataforma Web, tipo LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) (figura 5.5)

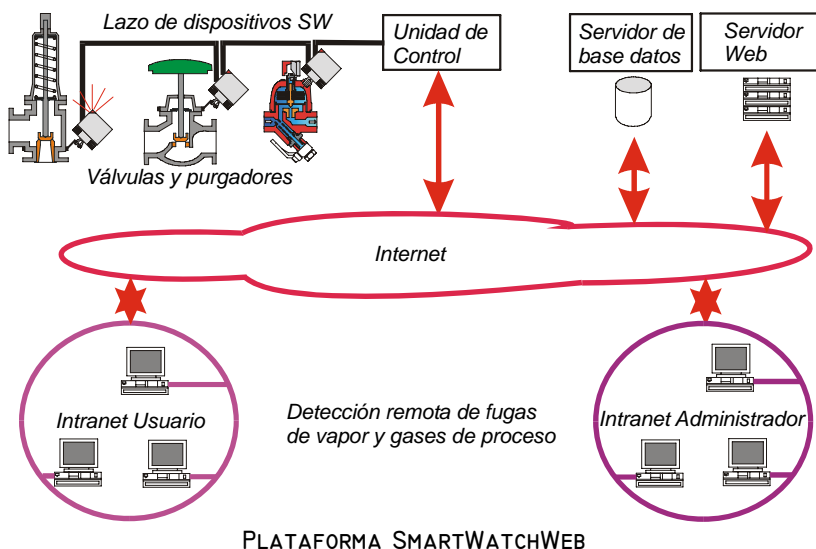


Figura 5.5

Destacar que la tecnología SmartWatch obtuvo dos Medallas de Oro en el Salón Internacional de Inventiones de Ginebra (Suiza) en 2004 y 2005, con Mención Especial del Jurado Internacional, así como el Premio Fundación García Cabrerizo a la Invención Española en 2004. Además, el sistema SmartWatch dispone además de certificación de seguridad intrínseca según ATEX II (1) G, grado de protección [Ex ia] IIC T4, pudiendo ser utilizado en atmósferas potencialmente explosivas (Zona 0).

La gestión del sistema, ya sea en modo local o remoto, se realiza a través de una intuitiva interfaz gráfica (figura 5.6), que permite obtener toda la información generada por los dispositivos de campo e interactuar bidireccionalmente con ellos.

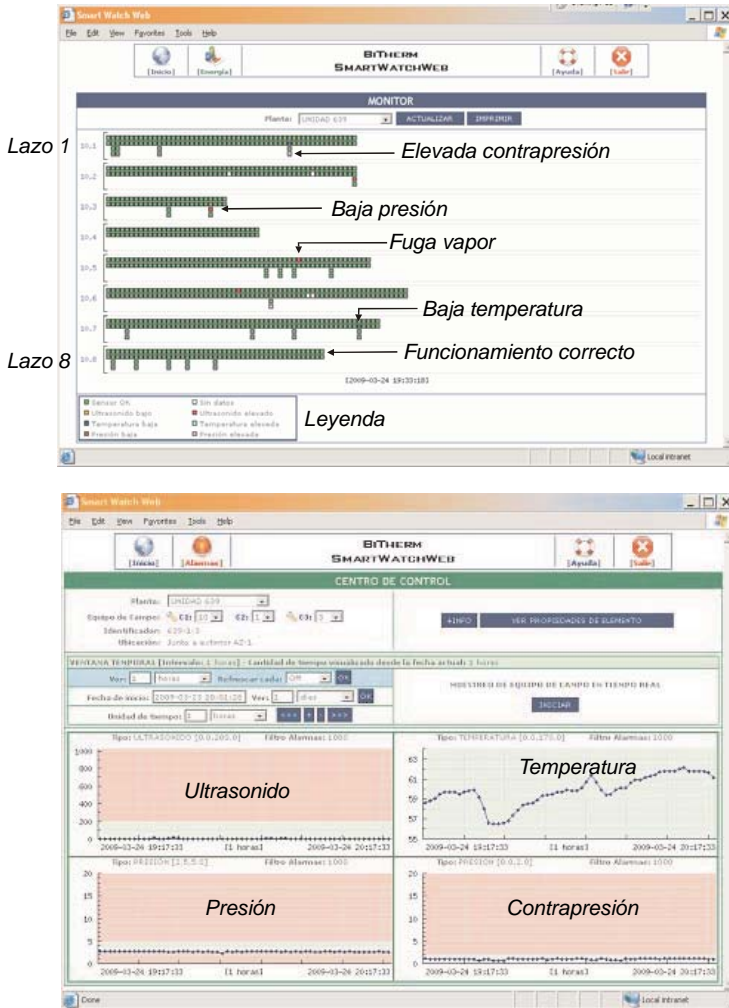


Figura 5.6

### 5.4 VENTAJAS DEL PURGADOR INTELIGENTE

Teniendo en cuenta que el purgador convencional es una válvula de regulación automática, cuya operación se realiza sin energía auxiliar, es decir, una válvula de regulación que controla energía de la que no dispone de información en tiempo real, se comprende que la gran aportación del purgador inteligente es precisamente poner en todo momento a disposición del usuario toda la información que se

requiere, no sólo para hacer un uso racional de la energía y eliminar su derroche sino también para la mejora de las condiciones de operación, la reducción de costes ya sean operativos, de inspección o de mantenimiento y aumentar la seguridad y la fiabilidad de la instalación de vapor y condensado.

Las ventajas principales del purgador inteligente son:

- » Capacidad de autodiagnóstico
- » Detección continua de fugas de vapor internas y/o externas
- » Monitorización continua de rendimiento de eficiencia energética
- » Mecanismo de ajuste externo y reparación sin interrupción del servicio
- » Monitorización de presión y contrapresión de la red de vapor/condensado
- » Mecanismo de ajuste de formación de vapor de expansión
- » Prevención de golpes de ariete térmicos
- » Reducción de costes operativos, de inspección y mantenimiento
- » Duración mínima unas tres veces superior al purgador convencional
- » Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

## **5.5 VÁLVULAS INTELIGENTES**

El concepto de purgador inteligente puede aplicarse en monitorización de válvulas y en detección de fugas de gases en válvulas de seguridad y válvulas automáticas de corte.

El dispositivo SmartWatch se fija exteriormente a dichas válvulas por medio de abrazaderas o collarines, sin necesidad de desmontar las válvulas ni de interrumpir su servicio (figura 5.7).

El sistema SmartWatch puede configurar una potente red de monitorización y vigilancia de fugas de vapor y gases peligrosos o nocivos en válvulas.

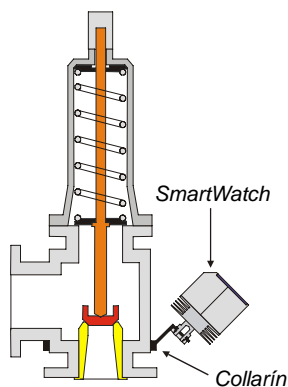


Figura 5.7

El sistema permanece en continua vigilancia detectando cualquier fuga de gas tan pronto como se produce; una vez detectada la fuga se transmite automáticamente la alarma desde el centro de control a los departamentos interesados, que de esta forma pueden tomar de forma inmediata las acciones que correspondan al objeto de eliminar situaciones de peligro y reducir riesgos de accidentes (figura 5.8).

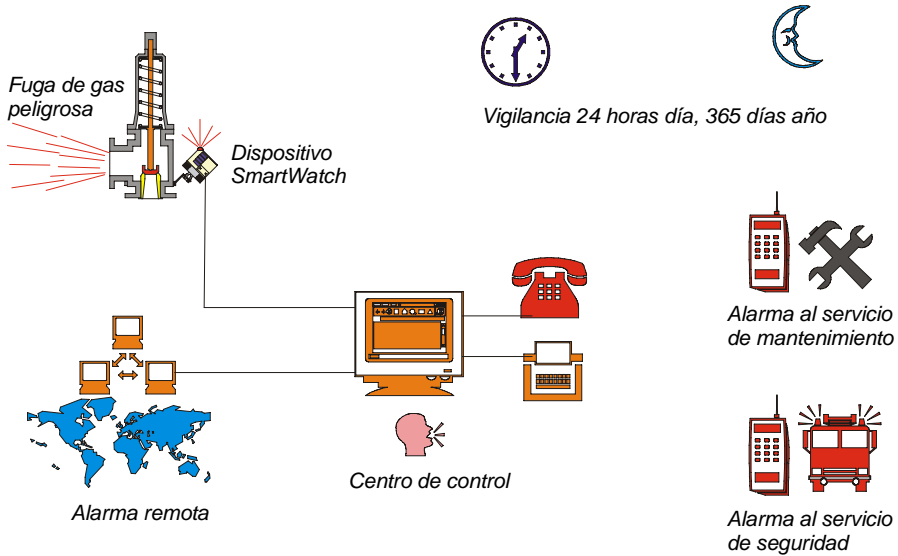


Figura 5.8

De esta forma se logran los siguientes resultados:

- » Detección de fugas internas y externas de gases de proceso para reducción de mermas y costes de producción
- » Localización rápida de fugas de gases peligrosos para mejorar significativamente las condiciones de seguridad en las instalaciones
- » Reducción de costes de inspección
- » Reducción del deterioro ocasionado por las fugas de gas y vapor en válvulas por su temprana detección (reducción de costes de mantenimiento)

La figura 5-9 muestra la aplicación de Smartwatch en monitorización de válvulas automáticas de corte para identificar al instante fugas de gases de proceso, que serían quemados en antorcha sin identificar. De esta forma se reducen mermas de proceso y, por tanto, costes de producción así como costes de inspección y costes de mantenimiento.

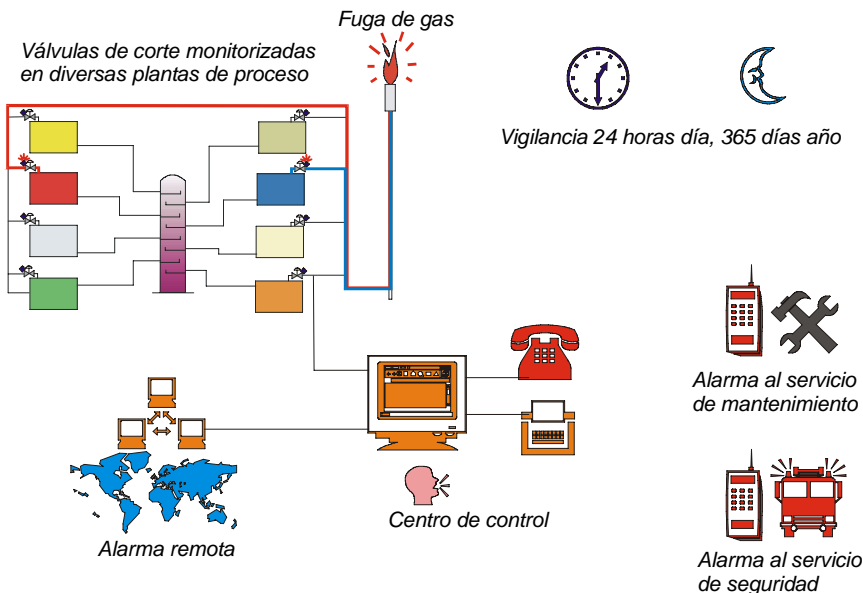


Figura 5.9

Una característica destacable del sistema SmartWatch es su capacidad para integrar múltiples sensores de diversos tipos en una arquitectura común que puede crecer a medida que surgen nuevas necesidades. De este modo, purgadores, válvulas y otros instrumentos pueden compartir una potente arquitectura común, simplificando su operación y reduciendo costes.

## CAPITULO 6

### DISEÑO DE REDES DE VAPOR Y CONDENSADO

#### 6.1 INTRODUCCIÓN

El alto contenido energético del vapor y su fácil transformación en otras distintas formas de energía hacen del vapor de agua un elemento ampliamente utilizado en gran número de usos industriales.

Como uso más generalizado el vapor se utiliza como portador térmico en aquellos procesos industriales que requieren aporte de calor a través de intercambiadores, radiadores de calefacción, tuberías de acompañamiento de líneas de producto, etc.

Otra de sus aplicaciones de gran importancia económica consiste en convertir su energía interna en energía mecánica para mover turbinas, que a su vez es transformada en energía eléctrica mediante alternadores. En otras aplicaciones esta energía mecánica se utiliza directamente para accionar bombas o compresores.

La energía interna del vapor puede ser transformada en energía cinética utilizada, entre otras aplicaciones, en eyectores de vacío basados en el efecto Venturi.

Otras aplicaciones usan vapor en reactores químicos como compuesto químico que interviene en la reacción o como medio de agitación en tanques y mezcladores.

Como es lógico, los distintos puntos de consumo de vapor normalmente están alejados unos de otros y distantes del lugar donde se genera, por lo que es indispensable disponer de una red de tuberías de distribución que haga llegar a cada consumidor el vapor necesario. En la figura 2.1 se representa esquemáticamente una instalación típica de vapor.

En primer lugar se dispone de una caldera en cuyo hogar se transforma energía química del combustible en energía calorífica. A través de un sistema de tubos de intercambio se comunica calor al agua contenida en el interior de la caldera hasta producirse su evaporación.

El vapor generado es conducido a los distintos puntos de consumo a través de un sistema de tuberías que constituyen la red de distribución.



El contenido energético del vapor se extrae mediante equipos adecuados en la forma más conveniente para cada proceso, produciéndose la condensación del vapor como consecuencia de esta cesión de energía.

El agua formada es evacuada hasta un tanque mediante otra red de tuberías que constituyen el sistema colector de condensados, para nuevamente ser bombeada al interior de la caldera desde donde volverá a recorrer el mismo circuito.

El esquema descrito corresponde a un sistema cerrado donde el agua pasa a vapor y nuevamente a agua repitiendo este ciclo, sin pérdida de masa. A diferencia de ello, si el condensado producido en los equipos consumidores de vapor no es retornado a la caldera sino evacuado al exterior la instalación correspondería a un sistema en circuito abierto.

Es evidente que el sistema cerrado es más eficiente que el abierto ya que la energía residual del condensado (calor sensible) es retornado y aprovechado en la caldera, pero la existencia de pérdidas de vapor a través de fugas al exterior o la existencia de equipos en las instalaciones que consumen masa de vapor (eyectores, agitadores por burbujeo, sopladores de hollín, mezcladores, desgasificadores, etc.) hacen que, en la práctica, las instalaciones no sean sistemas cerrados, sino casi cerrados.

La pérdida de masa de agua de un sistema abierto puede ser más problemático que el coste energético del vapor en zonas de difícil abastecimiento.

En el arranque de una instalación los equipos y tuberías pueden contener aire. El aire, u otros gases incondensables producidos en el proceso de generación de vapor, disminuye la temperatura del vapor y es un mal transmisor del calor, siendo necesaria su evacuación mediante desaireadores adecuados.

La red de distribución de vapor y de retorno de condensado, sometidos a las condiciones ambientales, ceden calor al exterior por transmisión y radiación, produciéndose una pérdida o autoconsumo de energía, que puede reducirse aislando térmicamente tuberías, equipos y accesorios.

La circulación del vapor y condensado por el interior de las tuberías se ve frenada por el rozamiento de las paredes de los tubos provocando una pérdida de presión en el vapor, pérdida de presión que se traduce en un descenso de su temperatura como se deduce de la curva de saturación del vapor (figura 1.3). Esta pérdida de presión por rozamiento se conoce como **pérdida de carga**.

La diferencia de temperatura a que se ven sometidas las tuberías produce dilataciones y contracciones, generando esfuerzos considerables en sus estructuras, capaces de producir roturas, que es necesario evitar. Para ello se emplean liras y compensadores de dilatación en aquellos puntos en los que la propia instalación no es capaz de absorber las dilataciones.

Las diferencias de velocidad de circulación entre vapor y condensado son capaces de producir oclusiones en tuberías llamados **golpes de ariete** de origen mecánico; la mezcla de condensados y revaporizado procedentes de diferentes presiones de vapor pueden originar también golpes de ariete de origen térmico que dañan considerablemente todos los elementos de la instalación provocando roturas y fugas. Los golpes de ariete son audibles como fuertes chasquidos metálicos o martillazos en tuberías.

## **6.2 COLECTORES GENERALES DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

En el diseño de colectores de distribución de vapor hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- » Autoconsumo de vapor. Pérdidas energéticas.
- » Dimensionado y velocidad de flujo.
- » Cálculo estructural: esfuerzos, dilataciones, etc.

Para el dimensionado de la red de distribución se parte siempre del conocimiento de consumos de vapor de cada equipo que compone la instalación. En los cálculos debe utilizarse siempre un factor de seguridad adecuado para dar cierta flexibilidad de operación a todos los equipos y al conjunto de la instalación. Es aconsejable dimensionar la red con una reserva de capacidad de al menos un 20 % para futuras ampliaciones o modificaciones.

Adicionalmente se conoce el trazado de la red, esto nos permite estimar en primera aproximación el diámetro necesario según se explica más adelante. Ahora bien, la red misma tiene su propio autoconsumo de vapor debido a las pérdidas energéticas al exterior, pérdidas que dependen del calorifugado y de la superficie de tuberías. Este autoconsumo debe ser tenido en cuenta incrementando el caudal total que ha de transportar la tubería para recalcular el diámetro final de la red de distribución.

Es frecuente utilizar en una misma instalación diferentes presiones de vapor en distintos equipos. Por ello, con frecuencia, el vapor se genera a presión superior a la de utilización y sólo se reduce ésta en los puntos de consumo. Ello suele ser ventajoso pues así se dispone de cierto margen de presión para futuras necesidades y al tiempo se reduce el diámetro de tuberías, valvulería y accesorios de la red (reducción de costes de instalación y mantenimiento), aunque aumenta el espesor de los mismos (aumento de dichos costes), por lo que es necesario determinar la solución más favorable.

Es oportuno recordar también que la acertada elección de la presión de trabajo en un equipo de intercambio de calor influye en su rendimiento térmico; este hecho se observa en la curva entalpía-presión representada en la figura 1.4. Véase que a

medida que aumenta la presión también lo hace el calor sensible del líquido, a costa de reducirse el calor latente de vaporización utilizado en los procesos de intercambio de calor, necesitándose así mayor cantidad de vapor para aportar la misma cantidad de energía. Nótese, sin embargo, que no debe reducirse la presión de vapor por debajo de cierto límite para garantizar el proceso de transmisión de calor. Este límite inferior viene fijado teóricamente por la temperatura del proceso que determina la temperatura de saturación correspondiente del vapor y con ello el límite teórico de presión; un exceso del 20 % sobre ese valor suele ser suficiente para lograr unas condiciones favorables para la transmisión de calor con elevado rendimiento térmico.

En este manual, para el cálculo de instalaciones de vapor se usan métodos gráficos, simples y rápidos, basados en reglas empíricas confirmadas ampliamente por la experiencia, que ofrecen soluciones reales muy próximas a las obtenidas con métodos más complicados.

### **6.3 AUTOCONSUMO DE LA RED**

El caso más desfavorable o de mayor autoconsumo se produce durante la puesta en marcha de la instalación, pues las tuberías están frías y deben calentarse hasta alcanzar la temperatura de régimen.

A partir de esa temperatura las tuberías continúan cediendo energía por conducción y radiación al exterior, pero la condensación debida a esas pérdidas de energía resulta generalmente muy inferior a la que se produce durante el arranque de la instalación.

La cantidad de vapor necesaria para la puesta en marcha de una instalación viene dada por la expresión:

$$Q_v = P * (T_v - T_a) * C_p / CL$$

En la cual:

$Q_v$  = Cantidad de vapor en Kg

$P$  = Peso total de la tubería y accesorios en Kg

$T_v$  = Temperatura del vapor en grados Centígrados

$T_a$  = Temperatura ambiente en grados Centígrados

$C_p$  = Calor específico del acero = 0.114 Kcal / °C Kg

$CL$  = Calor latente del vapor en Kcal/Kg

Esta cantidad de vapor  $Q_v$  corresponderá a un caudal horario tanto mayor cuanto menor sea el tiempo de calentamiento requerido o tiempo de puesta en marcha.

No es aconsejable una velocidad de calentamiento rápida para evitar golpes de ariete y disminuir las tensiones térmicas y mecánicas a las que se verá sometida la instalación en el arranque. La velocidad de calentamiento se controla abriendo más o menos rápido las válvulas de paso del vapor.

Si “tr” (minutos) es el tiempo de entrada en régimen o tiempo de puesta marcha de la instalación, el caudal horario Q (Kg/h) de vapor necesario viene dado por la expresión:

$$Q = Q_v * 60 / tr$$

## 6.4 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

El diámetro de la tubería está relacionado con el caudal, la velocidad de circulación y el volumen específico del vapor, por tanto depende de la presión y temperatura del vapor ya que el volumen específico es función de estas variables.

La velocidad media de circulación de un fluido en un tubo viene expresada por la ecuación de conservación de masa o ecuación de continuidad:

$$Q = d * V * S$$

En la cual:

V = Velocidad del vapor en m/sg

Q = Caudal de vapor en Kg/hr

d = Densidad del vapor en Kg/m<sup>3</sup>

Ve= Volumen específico en m<sup>3</sup>/Kg

S = Sección de la tubería en m<sup>2</sup>

Sustituyendo  $S = 3.14 D^2 / 4$  se obtiene:

$$V = 353,7 * Q * Ve / D^2$$

siendo D el diámetro de la tubería en mm.

Esta expresión muestra la relación existente entre el diámetro de la tubería y la velocidad de circulación en ella. Para unas condiciones de presión, temperatura y caudal fijas la velocidad del flujo crece cuadráticamente al disminuir el diámetro del tubo.

Una excesiva velocidad de flujo puede provocar serios problemas. La experiencia confirma que las velocidades óptimas de flujo para dimensionado de colectores de distribución de vapor saturado deben ser las siguientes:

| Presión del vapor<br>(bar) | Velocidad óptima del vapor<br>(m/sg) |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1,1 - 1,5                  | 25                                   |
| 1,5 - 3                    | 30                                   |
| 3 - 6                      | 35                                   |
| 6 - 13                     | 40                                   |
| 13 - 26                    | 50                                   |
| 26 - 100                   | 55                                   |

En los tramos de tubería cortos pueden incrementarse ligeramente las velocidades indicadas. Cuando las tuberías hayan de conducir vapor recalentado también se emplean velocidades superiores (suelen aplicarse velocidades un 10 % superiores en estos casos).

Con ayuda del gráfico de la figura 6.1, utilizando la velocidad de flujo apropiada a cada presión puede encontrarse fácilmente el diámetro adecuado para conducir un caudal determinado de vapor. El gráfico es válido incluso para cálculo de tuberías de vapor recalentado sin más que entrar con la temperatura y presión del vapor en la parte superior del gráfico.

Al utilizar el concepto velocidad se está suponiendo que se trata de velocidad media en una sección de tubería, sin tener en cuenta el perfil de velocidad que corresponde a su distribución a través de cada sección del tubo.

El siguiente ejemplo aclara la utilización del gráfico:

Se trata de hallar la sección de tubería necesaria para un colector de distribución para los siguientes datos:

Caudal de vapor recalentado: 30 Tm/h

Temperatura del vapor: 300 °C

Presión absoluta del vapor: 16 bar.

Se entra horizontalmente con la temperatura del vapor en la parte superior del gráfico hasta cortar la curva correspondiente de presión. Se sigue verticalmente hacia abajo hasta cortar la línea de caudal de vapor requerido obteniendo un punto. Desde aquí se sigue horizontalmente hasta cortar la línea vertical ascendente trazada desde la parte inferior del gráfico desde la velocidad de vapor seleccionada en la tabla anterior. En el punto de corte se lee el diámetro de la tubería necesario. Si el punto esté entre dos líneas se tomará la de mayor diámetro.

En el caso del ejemplo se llega a una diámetro de 200 mm (8”), para una velocidad de flujo de del vapor 44 m/sg.

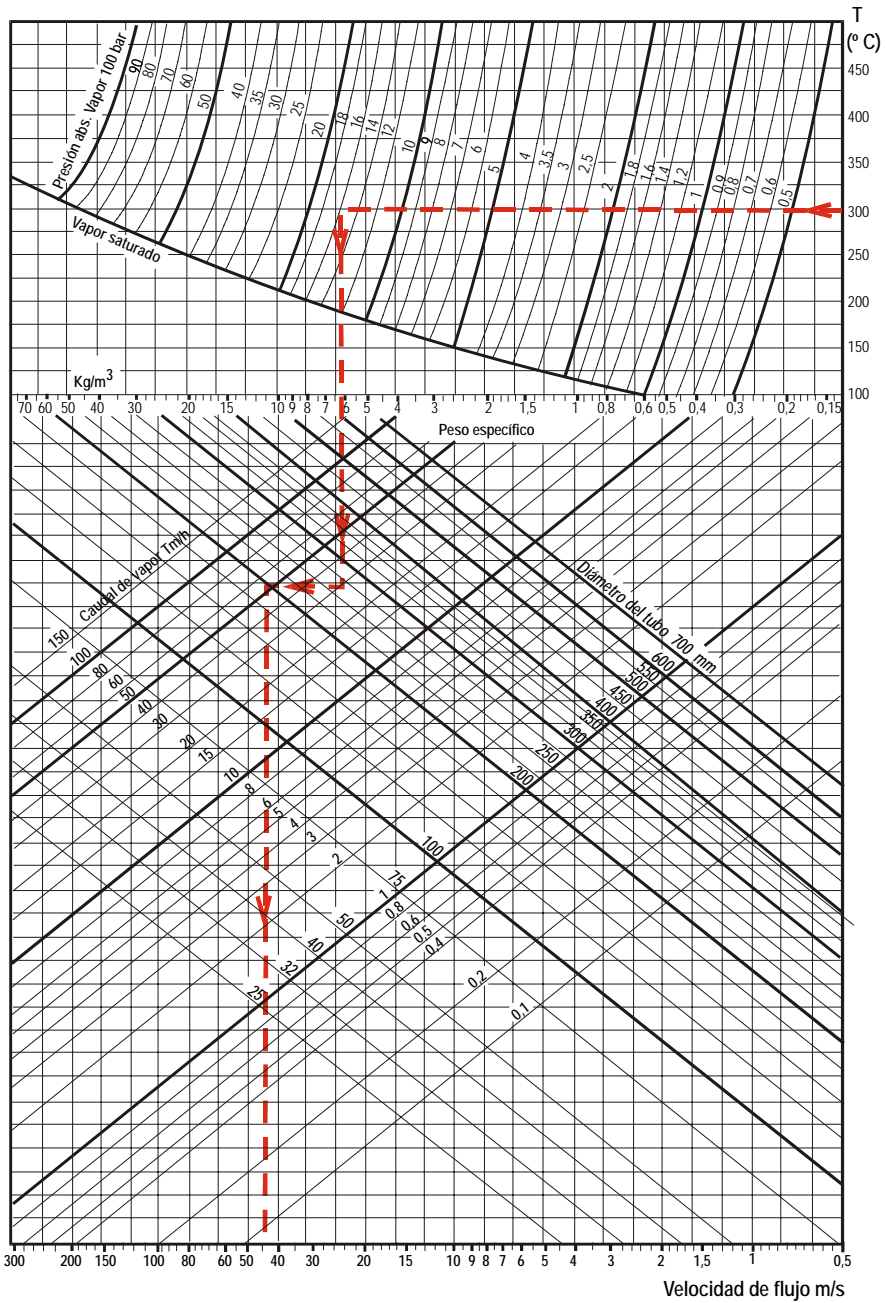


Figura 6.1

Una vez determinado el diámetro de tuberías deben considerarse otros aspectos importantes del diseño de la instalación, ya sean aspectos mecánicos, térmicos, funcionales, estructurales, etc., tales como:

- » Pérdidas de carga
- » Dilatación de tuberías
- » Pendientes
- » Pérdidas térmicas y calorifugado
- » Puntos de purga y desaireación
- » Cálculos de resistencia estructural

## **6.5 COLECTORES DE RETORNO DE CONDENSADO**

El colector de condensado presenta algunas similitudes y diferencias respecto al colector de distribución de vapor.

La primera diferencia que se observa es que uno conduce vapor y otro conduce condensado lo que impone diferencias de velocidad de flujo a tener en cuenta al dimensionar las secciones de tubo correspondientes. No obstante, el colector de condensados no sólo conduce agua sino que además conduce vapor de expansión junto con el agua. Esto es consecuencia del salto de presiones que se produce a través de los diversos sistemas de purga, dando lugar a la formación de cierta cantidad de revaporizado (ver apartado 1.3).

Notar que el vapor de expansión tienen las mismas propiedades que el vapor vivo, la única diferencia entre ambos es su origen, por tanto, el dimensionado del colector de condensado puede realizarse como si fuese una tubería de doble sección transversal; por la sección inferior circulará agua y por la superior circulará vapor a baja presión.

Ahora bien, la experiencia demuestra que en general se obtienen resultados muy buenos dimensionando los colectores de condensado como si fuesen colectores de distribución de vapor (despreciando en primera aproximación el caudal de agua) sin más que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- » *Utilizar como caudal de diseño el caudal máximo de revaporizado formado.*
- » *Emplear una velocidad de flujo de 15 m/sg para dicho revaporizado.*
- » *Comprobar la validez de esta simplificación.*

En efecto, si se tratase de dimensionar con exactitud la sección necesaria para el colector de condensado habría que calcular en primer lugar la sección para el flujo de agua y luego añadir la sección correspondiente a la fase vapor.

Debido a la diferencia de viscosidad entre ambas fases la velocidad de flujo de cada una ha de ser diferente; esta diferencia de velocidad cuando es grande puede producir pequeñas olas en la superficie de separación de las dos fases (figura 6.2), y llegar a causar el taponamiento momentáneo de toda la sección del tubo, principalmente en cambios de dirección o de sección, en cuyo instante se producirá un golpe de ariete indeseable para la instalación. Para evitar los golpes de ariete se deben utilizar velocidades de flujo del orden de 2 m/sg para la fase líquida y entre 15 a 20 m/sg para la fase de vapor.

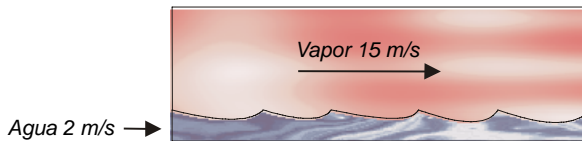


Figura 6.2

Ahora bien, con tan baja velocidad de circulación para la fase de vapor y el gran volumen que representa un pequeño porcentaje de agua revaporizada frente al volumen total del flujo en el colector, la sección necesaria para conducir la fase líquida adicional resulta despreciable frente a la sección requerida para la fase de vapor. De otra parte el diámetro comercial de tubería disponible condiciona su elección al más próximo por exceso en el mercado, exceso que suele ser muy superior al incremento de sección necesaria para conducir la fase líquida.

Por todo ello resulta muy práctico utilizar las citadas hipótesis de simplificación de cálculo ya que en la práctica los resultados obtenidos en muy raras circunstancias difieren de los obtenidos mediante cálculos más precisos.

Para calcular el caudal de revaporizado puede utilizarse el gráfico 1.7

## 6.6 PÉRDIDAS DE CARGA

Para calcular las pérdidas de carga de un fluido conducido a través de un tubo en régimen turbulento, caso más frecuente, puede aplicarse la ecuación de Darcy:

$$P_c = k * (L * d * V^2) / (D * 10^4 * 2g)$$



En la cual:

$P_c$  = Pérdida de carga ( $\text{Kg/cm}^2$ ) o (bar)

$k$  = Coeficiente de rozamiento

$L$  = Longitud de la tubería (m)

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

$d$  = Densidad del vapor ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  = Velocidad de flujo (m/sg)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/sg}^2$ )

El factor  $10^4$  se ha introducido para expresar el resultado en  $\text{Kg/cm}^2$  (aproximadamente en bar).

Con frecuencia se utiliza la expresión:

$$P_c = k_v \cdot (d \cdot V^2) / (10^4 \cdot 2g)$$

El coeficiente  $k_v$  es muy utilizado en valvulería y accesorios, que representan pérdidas de carga concentradas. Se suelen agrupar todas las pérdidas concentradas tomando como coeficiente  $k_v$  la suma de todos los  $k_v$  individuales.

La pérdida de carga total resulta ser la suma de todas estas pérdidas de carga concentradas más la distribuida debida a la propia tubería.

Para aplicar estas fórmulas debe conocerse el coeficiente de fricción del tubo  $k$ , que depende de la rugosidad relativa del tubo y del número de Reynolds. Para flujo turbulento y a partir de Reynolds del orden de  $10^6$ , frecuente en todos los casos prácticos, el coeficiente de fricción  $k$  toma un valor prácticamente constante; un valor medio aceptable es  $k = 0,0206$ .

Un cálculo suficientemente aproximado puede realizarse con ayuda de los gráficos de las figuras 6.3 y 6.4, de la siguiente forma:

- » Utilizando el gráfico de la figura 6.3 se obtienen los coeficientes de pérdida de carga  $k$  para tubería, válvulas y accesorios.
- » Sumando esos coeficiente para todos los elementos que integran el colector de distribución de vapor, se determina el coeficiente de pérdida de carga total.
- » Utilizando el valor de pérdida de carga total así obtenido en el gráfico de la figura 6.4 se obtiene finalmente la pérdida de carga total buscada.

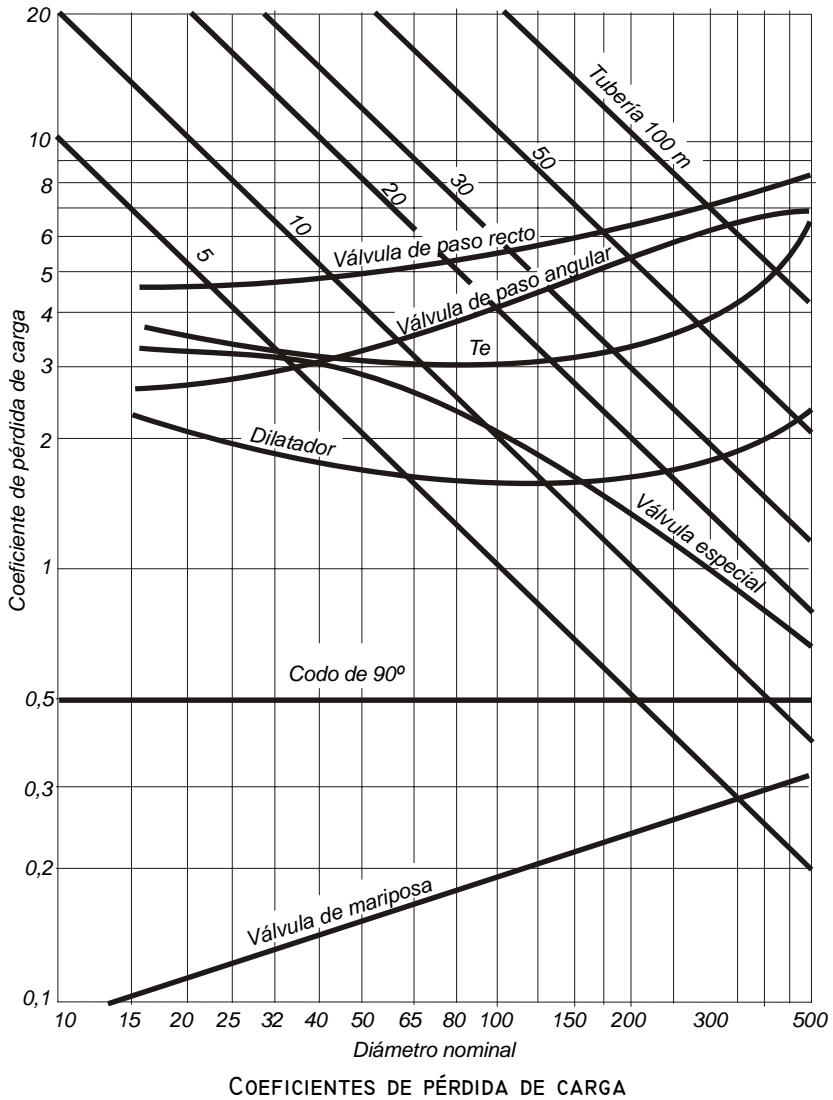
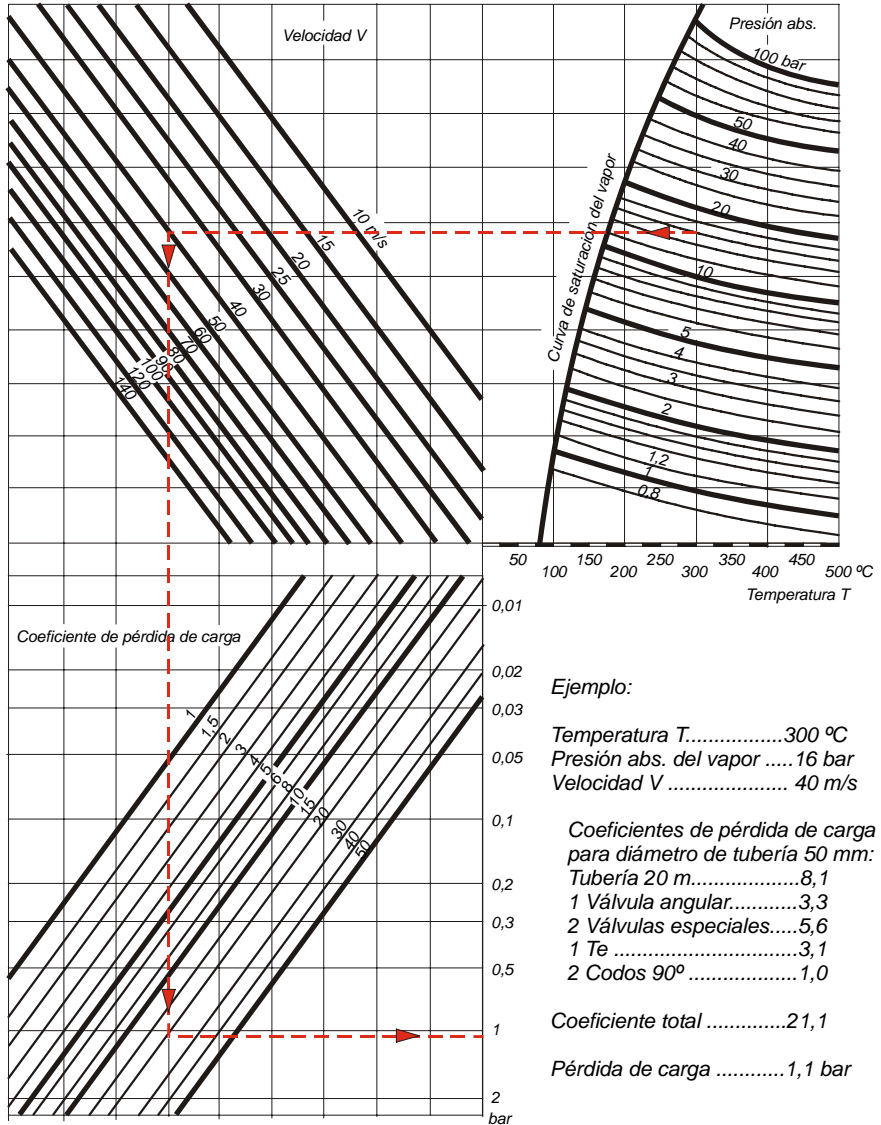


Figura 6.3



PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE VAPOR

Figura 6.4

### 6.7 DILATACIÓN DE TUBERÍAS

Durante la puesta en marcha de la instalación de vapor se produce la dilatación de las tuberías a medida que se va alcanzando la temperatura de régimen continuo. El aumento de longitud de los tubos por efecto de la temperatura puede determinarse mediante el gráfico de la figura 6.5, válido para tubos de acero comúnmente utilizados en instalaciones (contenido en carbono entre 0,1 % y 0,2 %).

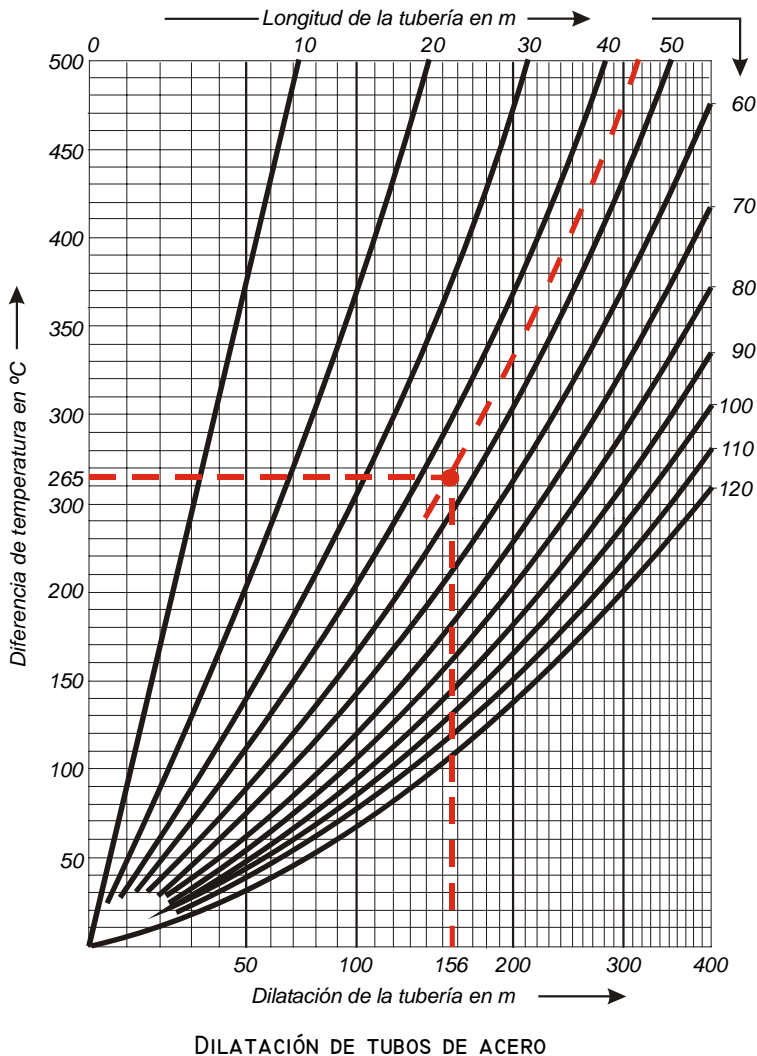


Figura 6.5

Para absorber esta dilatación se emplean diversos tipos de compensadores de dilatación, unos prefabricados para cuyo cálculo hay que seguir las instrucciones de cada fabricante y otros contruados por los propios elementos de la tubería como codos y liras.

En el caso de que existan cambios en la dirección de los tubos, pueden dimensionarse los codos de forma que absorban la dilatación que experimente la tubería aplicando la siguiente expresión, válida para codos precomprimidos al 50 % de la dilatación a absorber:

$$L = 0,063 (f * D)^{1/2}$$

donde

- L = Longitud de los brazos del codo (m)
- f = Dilatación a absorber por el codo (mm)
- D = Diámetro exterior del tubo (mm)

Esta expresión se representa en forma gráfica en la figura 6.6.

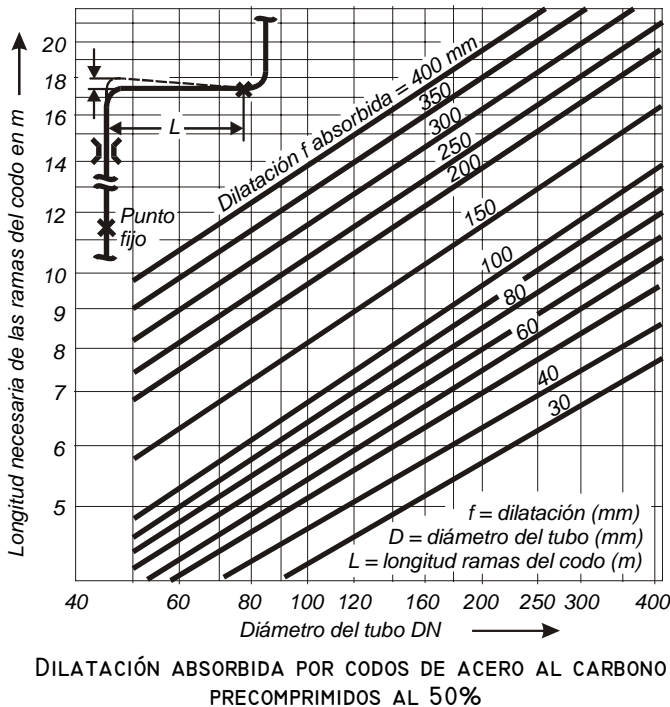


Figura 6.6

Cuando no puede ser compensada la dilatación prevista mediante los codos existentes en el trazado de la instalación es necesario emplear compensadores o liras de dilatación. En el caso de las liras pueden ser de dos formas: de “cuello de cisne” o de “doble codo”.

Las liras en “cuello de cisne” se utilizan más que los de “doble codo” por absorber mejor las dilataciones con menores tensiones. Pese a que su cálculo exacto debe consultarse en obras especializadas, en la figura 6.7 se representa la capacidad de absorción de este tipo de liras (para diferencias de temperatura elevadas debe reducirse un 20 % los valores obtenidos del gráfico).

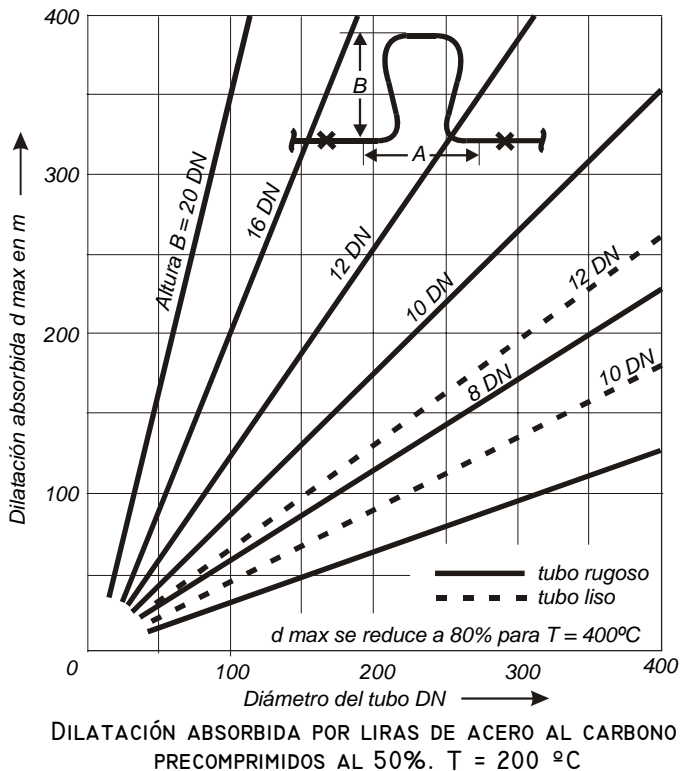


Figura 6.7

Finalmente hay que fijar el tubo en determinados puntos de anclaje para que la dilatación se produzca en la dirección deseada de manera que el compensador pueda desarrollar toda su acción. Estos puntos de anclaje se sitúan equidistantemente del compensador de dilatación.

## 6.8 PENDIENTES

En toda instalación, las tuberías deben disponerse con pendiente positiva en la dirección del flujo para permitir su vaciado por gravedad. Así se evitará la formación de posibles bolsas de agua a causa de la flecha que se produce entre apoyos consecutivos de la tubería.

Usualmente la pendiente es del orden del 2 %; una pendiente menor da lugar a la formación de las citadas bolsas de agua, que originan corrosión localizada en los tubos. Si la pendiente es negativa el condensado puede fluir a contracorriente por gravedad, dirección contraria al vapor, pudiendo provocar golpes de ariete por taponamiento de los tubos; esto es más frecuente en tubos de pequeño diámetro, con calorifugado dañado o en instalaciones de vapor a baja presión.

## 6.9 SOPORTES

Su misión es mantener rígidamente los tubos, o permitir la dilatación longitudinal o lateral de los mismos, facilitando la misión de los compensadores de dilatación codos y liras. La gran variedad de soportes para tuberías existentes puede ser agrupada en tres tipos:

- » Soportes normales
- » Anclajes
- » Soportes de guiado lateral

### *Soportes normales:*

Se sitúan regularmente espaciados a lo largo de la tubería y permiten el desplazamiento longitudinal de los tubos y, a veces, el desplazamiento lateral. Son utilizados frecuentemente en forma de rodillos lisos que posibilitan el desplazamiento lateral y se disponen sobre cartelas o suspendidos de un techo u otra estructura fija.

### *Anclajes:*

Su misión es proporcionar puntos fijos de inmovilización del tubo. Están constituidos por bridas fijadas por tornillos que solidarizan el tubo a una estructura fija adecuada. Su cálculo debe prever la resistencia para soportar los esfuerzos debidos no sólo al peso de los tubos sino también los esfuerzos térmicos a que da lugar la dilatación de los tubos y cualquier otra carga adicional que pueda actuar sobre ellos durante el servicio de la instalación así como en su puesta en marcha y parada.

### *Soportes de guiado lateral:*

Como su nombre indica permiten el desplazamiento lateral del tubo, pero también dejan libertad de movimiento longitudinal.

## 6.10 GOLPES DE ARIETE TÉRMICOS

En general se entiende como golpe de ariete un súbito e importante aumento de presión u onda de presión que alcanza valores usualmente del orden del 150 % de la presión normal de servicio. Esta onda de presión se desplaza a la velocidad del sonido en el seno del fluido y puede provocar deformaciones elásticas, deformaciones plásticas y roturas de elementos de la instalación.

Los golpes de ariete se reconocen por duros chasquidos, golpes metálicos, ruidos y vibraciones en la instalación. Hay que distinguir dos clases de golpes de ariete aunque a veces se presenten ambos simultáneamente:

- » Golpes de ariete hidráulicos en instalaciones de líquidos.
- » Golpes de ariete térmicos en colectores de vapor y condensado.

Los primeros se originan generalmente como consecuencia de apertura o cierre instantáneo de válvulas o accionamiento rápido de las mismas.

Los segundos son causados por la brusca condensación de burbujas de vapor en el seno de una masa de condensado a más baja temperatura, produciéndose lo que podría considerarse como “implosiones” tanto más violentas cuanto mayor sea el tamaño de las burbujas o más rápida sea esta condensación (mayor diferencia de temperaturas entre el vapor de expansión y el condensado).

No es fácil el cálculo de la sobrepresión que se produce en los golpes de ariete térmicos, pero si es evidente que su intensidad depende de las dimensiones de las burbujas de vapor, de la velocidad del agua y del vapor y de su diferencia de temperaturas.

Los golpes de ariete térmicos pueden aparecer como resultado de un dimensionado inadecuado de equipos o tuberías, mala selección de dispositivos de purga o purgadores defectuosos, fugas internas de vapor en elementos de purga, incorrecta instalación o ubicación de estos elementos o una combinación de todos ellos.

En cualquier caso los golpes de ariete deben ser evitados desde el diseño de la instalación respetando una serie de normas entre las que destacan las siguientes:

- » Restringir el uso de trampas de vapor a casos estrictamente necesarios.
- » Instalar purgadores delante de elevaciones de tubería.
- » Instalar purgadores en los puntos más bajos de la instalación.
- » Conducir por colectores independientes los condensados procedentes de vapor a presiones muy diferentes; si esto no fuese posible deben instalarse compensadores de golpes de ariete estratégicamente ubicados.



- » Evitar elevaciones de condensado tras los elementos de purga y cuando sea inevitable disponer amortiguadores de golpes de ariete, si éstos aparecen.
- » En las llegadas de colectores a tanques de condensado a nivel inferior al del líquido dotar al tubo de descarga de orificios o ranuras que distribuyan el revaporizado en pequeñas burbujas a fin de disminuir en la medida de lo posible la intensidad de los golpes de ariete.

***Prevención de golpes de ariete térmicos:***

Señalar que la mejor solución para la prevención de golpes de ariete térmicos es la utilización de purgadores inteligentes. Con ello se detectan inmediatamente fugas internas de vapor y se ajusta monitoriza su eficiencia energética, de esta forma se previene de la manera mas eficaz la generación de golpes de ariete.

## CAPITULO 7

### DISEÑO DE ESTACIONES DE PURGA

#### 7.1 INTRODUCCIÓN

En general, la misión básica de las estaciones de purga es descargar el condensado formado a en líneas de distribución o en los equipos de proceso sin dejar escapar vapor vivo.

Ahora bien, como se ha indicado en el capítulo 2, las estaciones de purga cumplen actualmente otras importantes funciones de control relacionadas con el incremento de eficiencia energética, reducción de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, mejora de fiabilidad de instalaciones, etc.

Para que las estaciones de purga puedan desempeñar su misión han de tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- » Elección de punto de purga
- » Posición de montaje y ubicación de estaciones de purga
- » Selección del tipo de elemento de purga (trampa de vapor o purgador)
- » Dimensionado del elemento de purga
- » Construcción de estaciones de purga

#### 7.2 ELECCIÓN DE PUNTOS DE PURGA

La ubicación de los puntos de purga es decisiva para conseguir que las estaciones de purga cumplan el resultado deseado.

En las líneas de distribución de vapor, los puntos de purga deben estar repartidos por toda la instalación con objeto de purgar todos los puntos bajos de la misma y/o donde sea previsible una acumulación de condensado por interrupción de la corriente de vapor (p. ej. delante de válvulas de corte); también es necesario prever puntos de desaireación automática ubicados en los puntos más altos o en aquellos

puntos en los que se prevea una posible acumulación de gases incondensables en la red de distribución en equipos de proceso. En cuanto a las líneas de traceado para calefacción de acompañamiento y líneas encamisadas de vapor, los puntos de purga han de situarse repartidos a lo largo de la instalación. Obviamente, los equipos de proceso disponen de puntos de purga situados habitualmente en la parte inferior de los mismos.

Así pues, a modo de resumen no exhaustivo, seguidamente se señalan los lugares más característicos donde deben instalarse puntos de purga (figura 7.1):

- » En el punto más alto de la instalación de vapor debe instalarse un desaireador termostático (en varios puntos en grandes instalaciones)
- » Distanciados 30 a 50 mt en tramos rectos de tubería de distribución de vapor, tramos de tubería de traceado, o en tramos de tubos encamisados de vapor.
- » Delante de tramos de tubería verticales ascendentes
- » Delante de liras de dilatación en tuberías
- » En todas las bolsas o puntos bajos de la instalación
- » Delante de válvulas automáticas en tuberías de distribución de vapor
- » En finales de líneas o de colectores de vapor
- » Detrás de cada equipo de proceso consumidor de vapor
- » En equipos de proceso con grandes cámaras de vapor (autoclaves, etc.), se instalarán desaireadores termostáticos en puntos altos de dichos equipos.

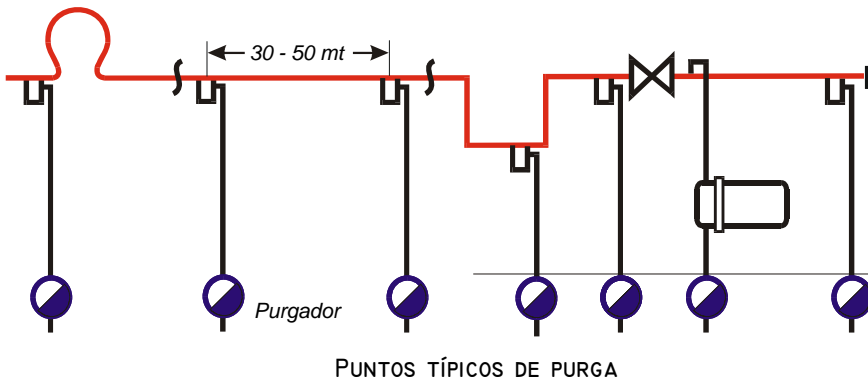


Figura 7.1

### 7.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE ELEMENTO DE PURGA

La selección del elemento de purga está condicionada principalmente por las características del equipo de proceso a purgar o aplicación, pero también deben ser considerados aspectos tales como características de la instalación, condiciones de trabajo y medioambientales, eficiencia energética, fiabilidad y disponibilidad, facilidad de inspección y mantenimiento, robustez, duración, resistencia al fallo y finalmente su coste.

Por tanto, la primera decisión a tomar es el tipo de elemento de purga; para ello existen dos opciones básicas:

» Trampa de vapor (trampear)

» Purgador (purgar)

Usualmente se sugiere “*trampear*” cuando se requiere asegurar la inexistencia de condensado delante de la trampa, sin importar la eficiencia energética de la instalación. En este caso debe evaluarse los efectos del aumento de revaporizado en la descarga de la trampa y prevenir sus consecuencias (contrapresión y golpes de ariete térmicos). Para evacuar caudales pequeños y medios se utilizan trampas termodinámicas de disco y para grandes caudales se usan trampas de flotador y de cubeta invertida.

Se recomienda “*purgar*” cuando se requiere incrementar la eficiencia energética de la instalación para reducir el consumo de vapor y, con ello, la emisión atmosférica de CO<sub>2</sub>, así como mejorar el funcionamiento de los colectores de retorno de condensado, evitando contrapresiones y golpes de ariete térmicos. La evolución de purgadores termostáticos permite encontrar siempre una solución satisfactoria para cada aplicación; para evacuar caudales pequeños y medios se utilizan purgadores termostáticos bimetálicos y bitermostáticos y para grandes caudales se usan purgadores termostáticos multielemento. En aplicaciones de traceado está especialmente indicado el uso de purgadores termostático bimetálicos, preferentemente bitermostáticos por disponer de elementos de regulación exterior que permiten obtener los máximos beneficios.

Un aspecto a considerar durante la elección del elemento de purga es el método a emplear para su futura inspección y mantenimiento. El uso creciente de purgadores inteligentes simplifica las tareas de inspección y reduce costes energéticos y de mantenimiento. No obstante, aun cuando inicialmente no se prevea la utilización de purgadores inteligentes, es recomendable diseñar la estación de purga de manera que permitan la fácil incorporación de los elementos adicionales para su futura monitorización (conexión para SmartWatch, conexiones para sensores de presión y contrapresión), de esta forma se reducirán considerablemente los costes futuros de transformación de estación convencional a estación de purga inteligente.

Así como el purgador lleva implícitamente asociada su capacidad de desaireación automática, cuando se utilicen trampas de vapor debe preverse su posibilidad de bloqueo por aire e incondensables y disponer elementos de desaireación termostática para evitarlo. Es recomendable evitar el uso de orificios de by-pass internos como desaireadores automáticos, pues implican pérdidas de vapor permanente, que se inyecta en colectores de retorno generando problemas.

### ***Dimensionado del elemento de purga:***

Una vez decidido el tipo de elemento de purga es necesario dimensionarlo; para ello deben considerarse los siguientes aspectos:

- » Presión y temperatura máximas de diseño.
- » Presión diferencial máxima de trabajo
- » Presión diferencial mínima de trabajo
- » Caudal máximo a evacuar en condiciones de mínima presión diferencial
- » Temperatura óptima de evacuación del condensado
- » Factor de seguridad
- » Tipo de conexión

La presión y temperatura máximas de diseño determinan los materiales del elemento de purga según las indicaciones del fabricante.

El elemento de purga debe ser capaz de funcionar correctamente hasta la presión diferencial máxima de trabajo. Notar que los purgadores pueden perder vapor cuando la presión diferencial supera el máximo dado por el fabricante; por el contrario las trampas de flotador y cubeta invertida quedan bloqueadas cuando la presión diferencial supera el valor dado por cada fabricante.

El tamaño del elemento de purga viene impuesto por el caudal máximo a evacuar, incluido factor de seguridad, en condiciones de mínima presión diferencial. No es aconsejable emplear coeficientes de seguridad exagerados pues el sobredimensionado perjudica la función de regulación y reduce la vida útil. Debe señalarse que las trampas de vapor requieren factores de seguridad mayores que los purgadores debido a que éstos disponen de un coeficiente de seguridad intrínseco que se superpone al de dimensionado del usuario. Valores usuales para este coeficiente son de 2.5 a 3 para trampas de vapor y 1.5 a 2 para purgadores.

Al considerar la capacidad de descarga de un elemento de purga hay que acudir a las curvas de caudal que ofrece su fabricante. No existe uniformidad en la manera

de presentar estas curvas y así, mientras unos ofrecen datos de caudal en frío otros se refieren a caudal a la temperatura de ebullición del condensado; la figura 7-2 representa la forma de un típico gráfico de caudal.

A falta de otros datos, en trampas de vapor se debe suponer que su máxima capacidad de evacuación a la temperatura de saturación suele ser aproximadamente un 70 % de su máxima capacidad de descarga en frío. En purgadores el criterio es muy distinto pues su coeficiente de seguridad intrínseco es mayor y el caudal máximo de evacuación en frío suele ser entre 3 y 4 veces superior al correspondiente a la temperatura de saturación, razón por la que debe reducirse el factor de seguridad en el dimensionado de purgadores.

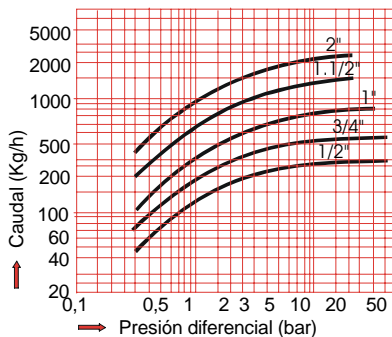


Figura 7.2

La temperatura media del condensado producido en un intercambiador de calor es entre 10 y 20 grados inferior a la de saturación del vapor (precisamente esta circunstancia es la que posibilita el uso de purgadores en equipos de proceso con éxito y permite reducir los consumos de vapor). Por tanto, es aconsejable intentar adaptar las características del purgador a las del proceso para que ambos trabajen en las mejores condiciones posibles.

Como se ha indicado, en aplicaciones de pequeño caudal, pozos de goteo y líneas de traceado se recomienda utilizar exclusivamente purgadores termostáticos y en particular bitermostático bimetálicos, debido a su robustez y sus especiales características de diseño, funcionamiento y regulación de temperatura de evacuación, adaptable a no solo a cada aplicación sino también a cada punto de purga. Como se sabe, en pozos de goteo y traceado es muy recomendable la descarga de condensado entre 10 °C y unos 40° C por debajo de la temperatura de saturación del vapor; el purgador bitermostático bimetálico ofrece la interesante característica de proporcionar un purgador que aun habiendo sido fabricado en serie el resultado es como si hubiese sido hecho a medida de cada punto de purga (mecanismo de ajuste externo en marcha).

Los elementos internos, obturador y asiento, de un elemento de purga están sometidos a condiciones de trabajo muy severas que originan un gran desgaste. Por tanto, en la selección del elemento de purga debe garantizarse la máxima calidad de sus internos, requiriéndose aceros especiales de gran dureza y alta resistencia al desgaste y, preferiblemente, con su superficie blindada a base de recubrimientos de materiales especiales tales como Nitruro de Titanio, Carburo de Tungsteno o materiales similares; de esta forma se alarga considerablemente su vida útil.

Debe tenerse en cuenta que un diseño más robusto y la utilización de materiales especiales en los componentes del elemento de purga supondrá un mayor precio de adquisición, pero se verá ampliamente compensado por su mayor fiabilidad, larga duración y ahorro de energía.

De otra parte la posibilidad de que el elemento de purga disponga de mecanismo exterior de ajuste también encarece el precio final del aparato, pero indudablemente las enormes ventajas que tal mecanismo ofrece en temas como ahorro de energía, facilidad de mantenimiento, versatilidad, etc, dejan fuera de lugar las comparaciones económicas frente a elementos carentes del citado mecanismo.

En ocasiones el elemento de purga debe soportar temperaturas bajo cero. Es el caso de instalaciones que funcionan intermitentemente y pueden quedar llenas de condensado mientras la temperatura exterior es inferior a cero grados. En estos casos se exige que el elemento de purga sea resistente para soportar heladas, desechándose aquellos construidos a base de fundición de hierro o que posean elementos internos sensibles. En estos casos, además, el diseño de la estación de purga debe favorecer el auto drenaje de la instalación a la atmósfera; con ello se obtendrá una instalación segura frente a las heladas.

En casos donde se prevea la aparición de golpes de ariete térmicos por descarga de condensados de diferentes presiones a un colector de condensados común, deben descartarse elementos sensibles en los purgadores, tales como flotadores y cápsulas o fuelles de expansión líquida. Aquí los más apropiados son los elementos bimetálicos seguidos de los de cubeta invertida.

Cuando se prevean condensados muy sucios o aceitosos es preferible usar trampas de vapor de flotador o de cubeta invertida. En caso de usar otro tipo de elemento es conveniente que dispongan de filtro, a ser posible de tipo "Y", con válvula de drenaje para resolver cualquier posible obstrucción del elemento.

Es deseable que el elemento de purga posea buena capacidad de desaireación tanto en puesta en marcha como durante su marcha normal. El mecanismo más común de desaireación automática es el termostato, que deber ser preferiblemente de tipo bimetálico por su robustez frente al de expansión líquida.

Algunas trampas de vapor de flotador disponen de orificios de venteo permanentes con el fin de producir la desaireación automática. Este tipo de venteadores no debe utilizarse salvo en aquellas aplicaciones que lo requieran para evitar la formación del llamado "tapón de vapor", como por ejemplo en la purga de cilindros secadores rotativos purgados por sifón. En los demás casos este tipo de venteo es una fuente de pérdidas de energía innecesaria.

Por último la elección del tipo de conexión puede incidir en la aparición de fugas de vapor futura en la instalación. No cabe duda que la conexión más segura a

efecto de fugas es la soldada aunque la bridada ofrece una alta seguridad y más facilidad para el mantenimiento. En instalaciones de traceado con gran número de estaciones de purga suele utilizarse la roscada, más barata pero con el problema de aparición frecuente de fugas a través de accesorios de tubería tales como tuercas de unión. Deben evitarse conexiones angulares o no estandarizadas que impliquen una dependencia de un fabricante.

Aunque es arriesgado dar recomendaciones sobre el tipo de elemento de purga para cada aplicación, seguidamente se muestran ciertas directrices que facilitan la labor de selección restringiendo el amplio abanico de posibilidades posibles, en orden descendente de prioridad:

***Aplicación: Traceado, radiadores de calefacción y tubos encamisados***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura
- » Bimetálicos
- » Termostáticos
- » Otros tipos

***Aplicación: Pozos de goteo y finales de línea***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura
- » Bimetálicos
- » Termostáticos
- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Otros tipos

***Aplicación: Sopladores de vapor y protección de turbinas***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura
- » Cubeta invertida si el nivel de recalentamiento del vapor lo permite
- » Termodinámico
- » Impulso
- » Otros tipos



***Aplicación: Tanques, calentadores de agua e intercambiadores de calor***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura, si el caudal lo permite
- » Termostático, si el caudal lo permite, y/o multielemento
- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Otros tipos

***Aplicación: Autoclaves y esterilizadores***

- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Termostáticos si el caudal lo permite
- » Termodinámicos
- » Otros tipos

***Aplicación: Aerotermos***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura
- » Bimetálicos
- » Termostáticos
- » Flotador
- » Otros tipos

***Aplicación: Calandras y cilindros rotativos de secado***

- » Purgadores especiales y válvulas automáticas de desagüe
- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Otros tipos

***Aplicación: Vulcanizadores y prensas planas***

- » Cubeta invertida



- » Flotador
- » Termodinámicos
- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura, si el caudal lo permite
- » Termostáticos
- » Otros tipos

***Aplicación: Calentadores de aire y secadores de aire caliente***

- » Bimetálicos
- » Termostáticos
- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Otros tipos

***Aplicación: Evaporadores y alambiques de cerveza***

- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Bimetálicos
- » Termostáticos
- » Otros tipos

***Aplicación: Planchas de vapor y calandras de lavandería***

- » Bitermostático con ajuste exterior de temperatura, si el caudal lo permite
- » Flotador
- » Cubeta invertida
- » Termodinámico
- » Otros tipos

Nótese que las trampas termodinámicas, salvo excepciones, apenas aparece en las recomendaciones anteriores debido a que, como consecuencia de su principio de funcionamiento, estas trampas de vapor tienen muy baja eficiencia energética.



Recordar que el tamaño del elemento de purga no se define por el diámetro de la conexión, sino por el diámetro del orificio interno de su válvula, que se dimensiona con el máximo caudal a evacuar y la mínima presión diferencial disponible.

En la industria petroquímica las dos aplicaciones más extendidas son traceado o calefacción de productos pesados y pozos de goteo de líneas de distribución de vapor. En ambos casos los caudales de operación en régimen continuo son casi siempre inferiores a 50 Kg/h (por lo general no sobrepasan de 10 Kg/h). Dado que ante tan reducido caudal cualquier pequeña fuga de vapor representa un altísimo porcentaje de pérdida de energía es preciso utilizar elementos de purga cuyo cierre hermético al vapor esté ampliamente garantizado y que la descarga de condensado se realice controlando su temperatura lo que conduce necesariamente a utilizar purgadores bitermostáticos para ambas aplicaciones.

Para facilitar la selección de purgadores BiTherm, puede utilizarse la herramienta informática “*Software de selección de purgadores*” disponible en el siguiente enlace:

<http://www.smartwatchweb.com>

## **7.4 CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA**

La construcción de una estación de purga difiere según su aplicación; las más usuales son los siguientes:

### ***Puntos de desaireación automática:***

Los puntos de desaireación en la instalación se ubican en los puntos más elevados de la misma, a ser posible próximos a los generadores de vapor. Se construyen injertando un tramo de 1 a 2 mt de longitud tubería ascendente de diámetro 3/4" o 1", en cuyo extremo se instalará un purgador termostático o desaireador. A la salida del purgador se conecta un trozo de tubería en forma de cuello de cisne para evitar el goteo sobre el propio purgador. Tanto la tubería de desaireación como el propio purgador deber quedar sin calorifugado para favorecer su función de desaireación.

### ***Pozos de goteo de líneas de distribución de vapor:***

Los pozos de goteo se diseñan de manera que el condensado pueda llegar hasta ellos por gravedad para ser drenados por el elemento de purga (figura 7-3)

Como norma general, la profundidad de un pozo de goteo suele estar comprendida entre 250 mm y 700 mm (la profundidad debe ser tanto mayor cuanto más baja sea la presión diferencial) y su sección, hasta 4", suele coincidir con el diámetro de la propia tubería. A partir de 4" el diámetro del pozo de goteo se suele reducir ligeramente. La sección máxima del pozo de goteo no debe exceder 10" en ningún caso.

En el fondo del pozo de goteo se injertará una conexión vertical descendente con una válvula de drenaje y limpieza; esta válvula será de 3/4" en pozos de hasta 2", de 1" en pozos de 2.1/2" o 3", de 1.1/2" en pozos de diámetro mayor de 3" y menor de 10" y de 2" para pozos de diámetro igual o superior a 10".

A 3/4 de altura del pozo de goteo, a partir de su fondo, se injertará la tubería horizontal de purga que será de 1/2" o 3/4" según el estándar del usuario.

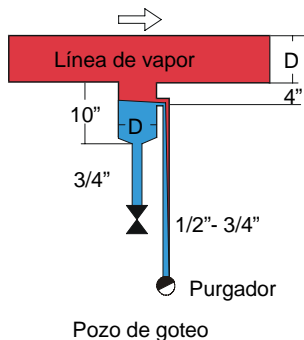


Figura 7.3

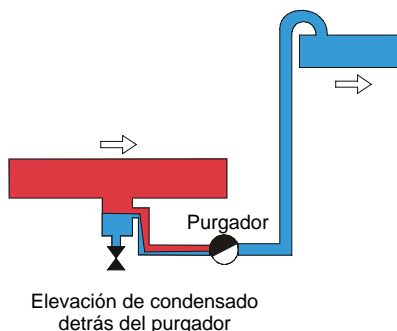


Figura 7.4

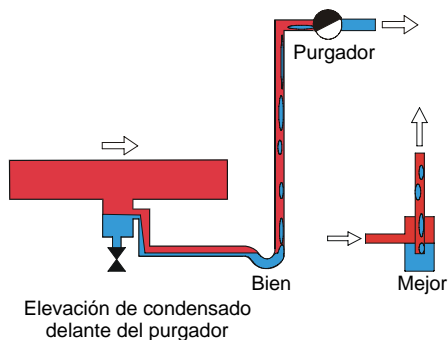


Figura 7.5

Cuando sea necesario elevar el condensado detrás del elemento de purga hasta el colector de retorno es aconsejable hacerlo según el esquema de la figuras 7-4.

Si la elevación de condensado se realiza antes del elemento de purga debe preverse un pequeño sifón anterior a la elevación para prevenir golpes de ariete (Figura 7-5)

Además del elemento de purga, las estaciones de purga deben contener elementos que facilitan su mantenimiento (filtro, válvulas de aislamiento y, en caso necesario, válvula de bypass), pero la tendencia actual es utilizar estaciones de purga compactas llamadas TVS (Trap Valve Station) que, además del elemento de purga, incorporan todas las válvulas anteriormente citadas como muestra la figura 7-6.



Figura 7.6

**Líneas de traceado:**

Los tramos de líneas de traceado no deben superar la longitud de 100 mt. Tanto las estaciones de distribución de vapor como las de purga se deben agrupar en manifolds, de esta forma se simplifica su mantenimiento (Figura 7-7).

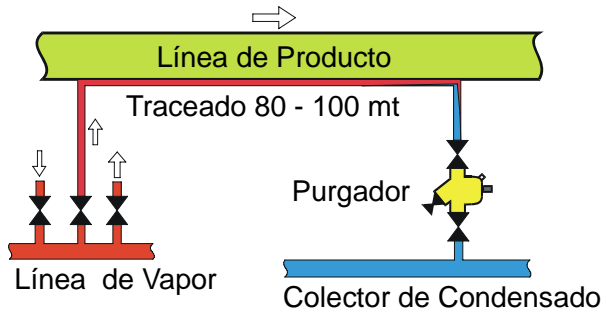


Figura 7.7

**Líneas encamisadas:**

Las líneas encamisadas suelen utilizarse para el transporte de sustancias que requieren elevadas temperaturas para mantenerlos en estado líquido a viscosidad adecuada. El traceado en estos casos suele ser muy crítico y las temperaturas del condensado deben mantenerse vigiladas (figura 7-8)

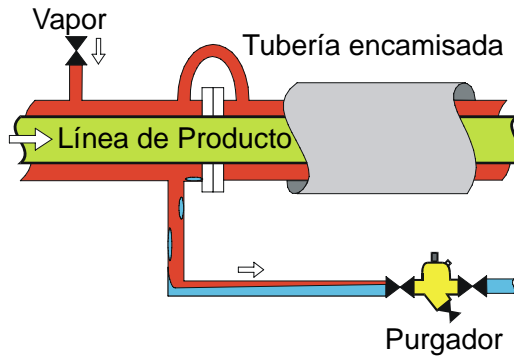


Figura 7.8

**Traceado de válvulas e instrumentación:**

Se utiliza con los mismos fines descritos en el párrafo anterior y se realiza arrollando uno o varios tubing de cobre alrededor de las válvulas o instrumentos a tracear (figura 7-9)

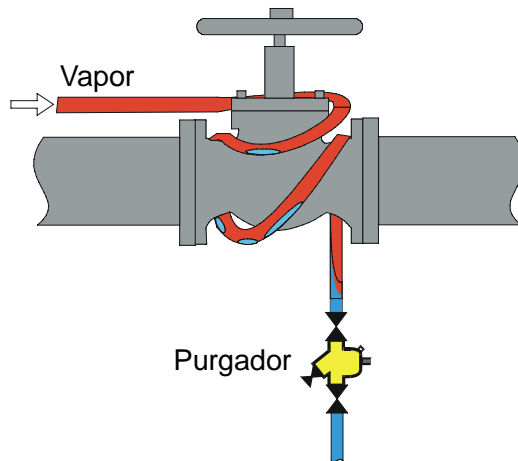


Figura 7.9

### Purga de equipos de proceso:

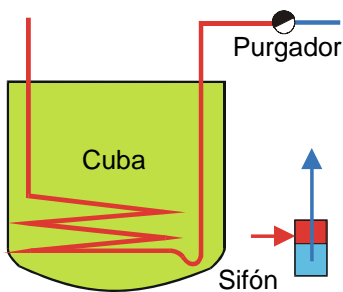


Figura 7.10

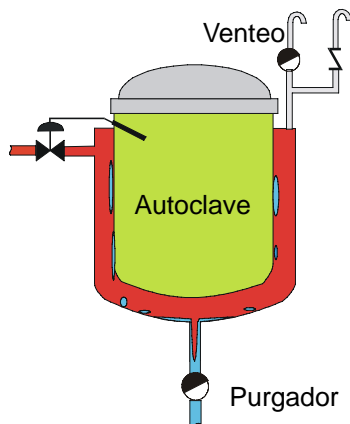


Figura 7-11

En el caso de purga de equipos de proceso el pozo de goteo debe asegurar una distancia vertical descendente entre el equipo y el purgador entre 300 y 700 mm, eligiéndose el diámetro de la tubería de drenaje y el del propio purgador de acuerdo con la capacidad de condensado a evacuar, la presión diferencial, el factor de seguridad de diseño, y cualquier otra condición impuesta por el diseño.

Cuando en los equipos de proceso existen condiciones especiales tales como serpentines de fondo con elevación de condensado antes del purgador (figura 7-10) hay que prevenir golpes de ariete mediante sifones de fondo.

En equipos de proceso con grandes espacios para vapor y/o arranques y paradas frecuentes es preciso prever la desaireación automática en puntos elevados del equipo, para evitar presencia de incondensables que reducirían la presión parcial del vapor (Ley de Dalton) y, con ello la temperatura de saturación del vapor, afectando al rendimiento térmico del proceso de calentamiento. Como desaireador automático puede emplearse un purgador termostático. Nótese que en estos casos no basta con disponer de un purgador de condensado en el fondo con capacidad de desaireación automática, pues el aire y los gases incondensables presentes en la zona superior de los equipos jamás llegarían al purgador de fondo, siendo necesario el venteador instalado en la zona superior del equipo. El venteador debe instalarse en el extremo de tubo vertical ascendente de al menos 1 mt de longitud, terminado en una garrota tras el purgador, todo ello sin calorifugar.

Cuando se desconoce el caudal de condensado a evacuar en el equipo se sigue la norma de seleccionar el diámetro del purgador un paso inferior al de la tubería de salida del equipo. Por ejemplo, si la salida del equipo es de 2.1/2", se utilizará un purgador de 2".

Finalmente debe evitarse la purga colectiva de equipos de proceso a través de un único elemento de purga (figura 7-12) puesto que su mal funcionamiento afectaría simultáneamente a todos los equipos de proceso y, además, en ciertas condiciones de trabajo podría producirse un reflujos de condensado e incondensables hacia alguno de dichos equipos, lo que podría causar pérdidas de rendimiento, golpes de ariete térmicos y corrosiones imprevistas.

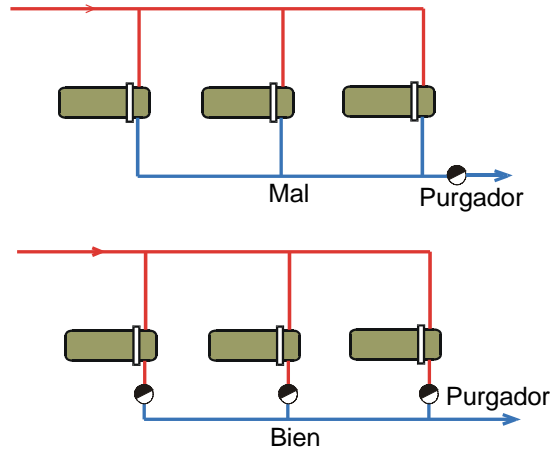


Figura 7.12

## 7.5 MONTAJE DE ELEMENTOS DE PURGA

La posición de montaje de un elemento de purga está condicionada por su principio de funcionamiento; en general deben seguirse las siguientes reglas:

- » Las trampas de vapor de tipos termodinámico, laberinto o impulso deben instalarse en posición horizontal con el disco o tapón superior en su posición más alta. Instaladas en otra posición pierden mas energía y se deterioran más rápidamente.
- » Las trampas de vapor de flotador o de cubeta invertida solo pueden instalarse en aquella posición en la que su mecanismo de flotación tenga libertad de movimiento vertical. Cualquier otra posición anula el funcionamiento de la trampa.
- » Los purgadores termostáticos pueden montarse en cualquier posición, debido a que son controlados exclusivamente por la temperatura del condensado y el desplazamiento de las partes móviles de su válvula está guiado en todo su recorrido.

Las estaciones de purga suelen montarse agrupadas de forma compacta, pero ha de tenerse presente disponer de fácil acceso y manipulación a cada elemento de purga para poder realizar facilmente futuras operaciones de inspección y mantenimiento.

En alguna aplicación puede ser útil instalar una mirilla aguas arriba del elemento de purga para observar su funcionamiento, pero hay que tener en cuenta que la mirilla es un elemento que requiere mantenimiento debido al ensuciamiento de sus cristales. Sin embargo, este mismo efecto puede resolverse muy ventajosamente monitorizando el elemento de purga tal como se describe en el apartado 8.3

Debido a la evolución de los sistemas de inspección de estaciones de purga, el uso de equipos de ultrasonidos hace innecesaria la instalación de válvulas de prueba en las estaciones de purga.

Así mismo los problemas que genera la incorrecta maniobra de las válvulas de by-pass (presurización en colectores de retorno), unido a los avances en el diseño de purgadores con dispositivos de reglaje exterior están contribuyendo a la eliminación de las válvulas de by-pass, salvo en las purgas de equipos de proceso o purgas de máxima responsabilidad donde se han de conservar por razones de fiabilidad.

Las válvulas de retención, cuando sean necesarias, han de ser de máxima calidad y mínima pérdida de carga sobre todo en sistemas de baja presión diferencial para no causar importantes problemas que impiden el funcionamiento del purgador, caso muy frecuente en las instalaciones petroquímicas.

En regiones cuyas condiciones meteorológicas sean desfavorables han de preverse los efectos del viento, lluvias o heladas en el funcionamiento de las estaciones de purga y en sus pérdidas energéticas. Así, cuando se utilicen trampas de vapor de tipo termodinámico, muy sensibles a las condiciones ambientales adversas, o trampas de vapor mecánicas (flotador o cubeta invertida), voluminosos y con cámaras de vapor en su interior, deben protegerse con caperuzas de chapa apropiadas para evitar que la lluvia caiga directamente sobre ellos, ya que su funcionamiento resulta seriamente afectado creciendo desmesuradamente las pérdidas de energía y la contrapresión en toda la instalación.

Recordar que nunca deben aislarse térmicamente los elementos de purga pues ello podría anular su capacidad de venteo automático y reducir su capacidad de evacuación. No obstante, se debe calorificar el resto de tubería y valvulería que forma la estación de purga.

La prevención de heladas es de vital importancia para la conservación de las instalaciones sobre todo cuando su operación es intermitente. Cuando no se ha previsto este hecho los daños que se originan pueden ser de una gran magnitud. Para ello deben preverse purgas generosamente sobredimensionadas en diversos puntos bajos de la instalación, así como evitar la elevación de los condensados en todas



las estaciones de purga, diseñando las mismas con válvulas de drenaje atmosférico que permanecerán abiertas durante las épocas de riesgo de heladas en todas las estaciones de purga susceptibles de ser afectadas por este hecho, drenando los condensados a la atmósfera. Finalizada la época de riesgo de heladas se cerrarán estas válvulas para así recuperar la energía residual de los condensados.

Un sistema alternativo de prevención de heladas, más costoso pero indudablemente más rentable, es la sustitución de las válvulas de drenaje manual por válvulas de accionamiento termostático, taradas a una temperatura de 60 a 70 grados; éstas permanecerán cerradas durante el servicio normal siendo abiertas automáticamente cuando exista riesgo de heladas para drenar la estación de purga y evitar daños. Para este propósito son muy útiles los purgadores termostáticos con mecanismo de ajuste exterior de temperatura, que facilitan mucho esta tarea.

En caso de riesgo de heladas deben evitarse los tramos de tubería horizontal antes y después del purgador, aplicando grandes pendientes. Todas las tubuladuras que drenan a la atmósfera deben ser lo más cortas posible.

En la purga de equipos con regulación automática de suministro de vapor puede producirse incluso vacío al condensar el vapor retenido en el interior del equipo estando la válvula de regulación cerrada. En tales casos es necesario prever una válvula rompevacío con conexión a la atmósfera en el lado de drenaje del equipo de proceso.

Siempre que sea posible, las descargas de elementos de purga deben conducirse al tanque general de recogida de condensados; cuando se eleve el condensado a la salida del elemento de purga debe tenerse en cuenta 1 bar de contrapresión por cada 7 mt de elevación aproximadamente (teóricamente sería 1 bar cada 10 mt de elevación pero en la práctica se toma el valor antes citado para tener en cuenta la presencia de cierta cantidad de vapor de expansión coexistiendo con el condensado y el aumento de contrapresión local que se origina). Si para evitar reflujos se utilizan válvulas de retención han de ser de buena calidad y pequeña pérdida de carga.

En equipos de proceso con regulación automática de suministro de vapor donde sea previsible una insuficiente presión diferencial para evacuar los condensados a causa de su excesiva elevación, es necesario instalar un sistema de purga de seguridad, constituido por un segundo purgador montado en paralelo con el primero con descarga libre o a un tanque atmosférico próximo de recuperación de condensado.

## CAPITULO 8

### INSPECCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA

#### 8.1 INTRODUCCIÓN

La inspección de estaciones de purga tiene por objeto detectar cualquier anomalía ya sea de tipo funcional, de eficiencia o de cualquier otra naturaleza. Entre las incidencias más frecuentes detectables durante la inspección de estaciones de purga se encuentran fugas de vapor internas o externas, diseño o dimensionado inapropiado, montaje defectuoso, temperaturas de descarga inadecuadas, obstrucciones, bloques, golpes de ariete térmicos y contrapresiones excesivas.

Estadísticamente más del 80% de las incidencias detectadas están relacionadas con fugas de vapor y eficiencia energética, y el resto con incidencias operativas. Con frecuencia, más del 20% de estaciones de purga presentan fugas de vapor o bajo rendimiento energético, situación incompatible con el uso racional de la energía y el crecimiento sostenible.

El establecimiento de un programa eficaz de inspección y mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo reduce considerablemente todas las incidencias citadas y resulta especialmente útil para reducir fugas de vapor, optimizar la eficiencia energética y reducir la emisión de gases de efecto invernadero en redes de vapor.

La siguiente tabla muestra valores orientativos de incidencias en estaciones de purga en correspondencia con la frecuencia de inspección y mantenimiento:

| <b>Frecuencia de inspección y mantenimiento preventivo de estaciones de purga</b> | <b>Porcentaje de fallos característico</b> |
|---|--|
| 24 meses  | 30 %                                       |
| 18 meses  | 25 %                                       |
| 12 meses  | 15 %                                       |
| 6 meses   | 7 %  |
| 3 meses   | 5 %  |
| 1 mes   | 3 %  |
| 1 día (monitorización continua)   | < 0,2 %                                    |

Como es lógico, el porcentaje de incidencias se reduce tanto más cuanto mayor sea la frecuencia de inspección adoptada. La elección del elemento de purga también tiene gran influencia en la eficiencia energética de la instalación pero, a la vista de la tabla anterior, este irrenunciable objetivo sólo puede quedar garantizado mediante la implantación de un sistema de monitorización continua y un programa de mantenimiento intensivo (ver capítulo 9).

## **8.2 INCIDENCIAS MÁS FRECUENTES Y SOLUCIONES**

Las incidencias más frecuentes y soluciones en estaciones de purga son las siguientes:

### ***Elemento de purga frío; no purga:***

- » Verificar la presencia de vapor en la línea.
- » Comprobar el buen estado del filtro, anterior o interno de la estación de purga, así como posibles obstrucciones en la línea, producidas por rotura de algún elemento en las válvulas de aislamiento, etc.
- » Comprobar el valor de la presión diferencial real y la adecuación de la trampa o purgador para trabajar a dicha presión (a veces al sustituir la válvula interna de una trampa de flotador se utiliza un orificio de mayor diámetro con el fin de aumentar su capacidad de descarga; esto puede resultar totalmente negativo pues si se rebasa el límite de presión diferencial admisible para ese orificio el flotador quedará bloqueado permanentemente).
- » Verificar la movilidad del mecanismo de accionamiento de la válvula del purgador. En trampas de flotador o cubeta invertida verificar inexistencia de fisuras o poros que reducirán su flotabilidad.
- » Verificar si el dispositivo termostático de venteo automático está obstruido o deteriorado, lo que produciría bloqueo por incondensables.

### ***Elemento de purga con capacidad de descarga insuficiente:***

- » Verificar el dimensionado del purgador.
- » Verificar el correcto funcionamiento del dispositivo interno de venteo automático.
- » En purgadores termostáticos, modificar su ajuste (si dispone de mecanismo de ajuste).
- » En trampas de vapor de descarga intermitente comprobar que las descargas sean cíclicas, en caso contrario el purgador resulta insuficiente.

***Elemento de purga con fuga interna:***

- » Verificar la presión diferencial y comprobar que es adecuada al elemento de purga empleado.
- » Verificar el desgaste de sus órganos internos o su posible bloqueo por algún objeto extraño.
- » Comprobar la inexistencia de fugas a través de la junta entre asiento y cuerpo de válvula.
- » En trampas de cubeta invertida comprobar la existencia del sellado hidráulico y reponerlo en caso de que se haya perdido cerrando su salida durante varios minutos y enfriando el cuerpo del mismo.
- » En purgadores termostáticos de expansión líquida comprobar cierta rigidez del termostato (fuelle o cápsula); si ésta no existe podría ser debido a la pérdida de líquido interno por perforación del termostato.

***Elemento de purga con fuga injustificada:***

- » Comprobar si la presión diferencial real está comprendida entre los límites del elemento de purga utilizado. Si es preciso cambiar el tipo de elemento de purga o reducir contrapresión.
- » En trampas de vapor con desaireación automática verificar la integridad del termostato o elemento de venteo.
- » En purgadores bimetálicos verificar el orden correcto de las láminas del termostato, éstas deben estar agrupadas formando parejas con sus caras de mayor coeficiente de dilatación en las caras externas de cada pareja. Para facilitar la identificación, la cara de mayor coeficiente de dilatación está generalmente marcada por el fabricante.
- » En purgadores bitermostáticos BiTherm, el termostato inferior, constituido por una sola lámina bimetálica alargada, debe tener su cara marcada orientada hacia el asiento de la válvula.

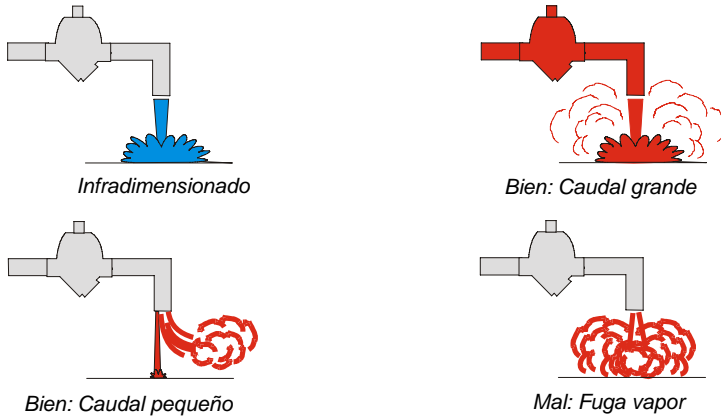
### **8.3 METODOS DE INSPECCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA**

La verificación de estaciones de purga debe comprobar no solo el estado de todos sus elementos (elemento de purga, válvulas de bloqueo, bypass, ...), sino también su idoneidad y dimensionado para cada aplicación, y su eficiencia energética.

Esta verificación normalmente requiere cierta experiencia y la combinación de varios métodos de inspección, que se describen a continuación:

**Inspección visual directa:**

La observación de la descarga atmosférica de un elemento de purga (figura 8.1) requiere cierta experiencia para distinguir entre vapor vivo y vapor de expansión.



**FALLOS MAS FRECUENTES EN ELEMENTOS DE PURGA**

Figura 8.1

La presencia de vapor de expansión en la descarga de un elemento de purga es natural y no implica existencia de fuga de vapor vivo. No obstante, la formación de vapor de expansión se reduce enormemente en aplicaciones de traceado, debido al aprovechamiento parcial del calor sensible del condensado para incrementar la eficiencia energética, objetivo irrenunciable actualmente.

Generalmente, cuando se observa un chorro de vapor totalmente transparente a la salida de una purga se trata, sin duda, de fuga de vapor vivo, pero si va acompañado de gotas de agua y es ligeramente opaco puede tratarse de vapor de expansión y el funcionamiento del purgador es correcto. Casos intermedios son difíciles de precisar y como se ha señalado se requiere experiencia para su diagnóstico.

La inspección visual ha de tener en cuenta las siguientes circunstancias:

- » Cuando las purgas no son atmosféricas sino recogidas en un colector, es preciso disponer de válvula de prueba para realizar la inspección visual.
- » En trampas de vapor, la válvula de prueba debe estar siempre instaladas justo detrás del la trampa.
- » En purgadores, la válvula de purga puede instalarse delante o detrás del mismo. La válvula de prueba instalada delante del purgador, tiene la ventaja

de permitir verificar si lo que llega al mismo es vapor vivo o condensado. En efecto, al abrir muy ligeramente esta válvula, si el purgador funciona correctamente, deberá salir durante un instante unas gotas de agua e inmediatamente vapor; por el contrario si sólo sale vapor seco es un síntoma de que el purgador fuga vapor vivo, pues no puede existir vapor de expansión delante del mismo. Nótese que si la válvula de prueba se monta detrás del purgador es natural que descargue vapor de expansión, aunque el purgador esté funcionando correctamente, y ello dificulta el diagnóstico correcto.

- » En el caso de la trampas de vapor de descarga intermitente (termodinámico y cubeta invertida), la válvula de prueba posterior a la trampa permite verificar si su funcionamiento es intermitente; en otro caso la trampa fuga vapor.
- » En caso de trampas de vapor de descarga continua (boya), la válvula de prueba posterior a la trampa descarga siempre vapor de expansión, mezclado o no con vapor vivo; por ello el diagnóstico visual puede resultar impreciso.

Debe tenerse en cuenta que el método de inspección visual es poco recomendable pues al abrir la válvula de prueba se modifican las condiciones reales de trabajo del elemento de purga, eliminando la contrapresión.

Es frecuente y sobradamente conocido el hecho de que elementos de purga que trabajan correctamente cuando descargan a la atmósfera, se bloquean parcialmente o fugan vapor cuando se conectan de nuevo al colector de retorno de condensado.

### ***Inspección óptica a través de mirilla:***

La inspección a través de mirillas de estaciones de purga sustituye la válvula de prueba de la inspección óptica por una mirilla de vidrio colocada en la tubería delante o detrás del purgador.

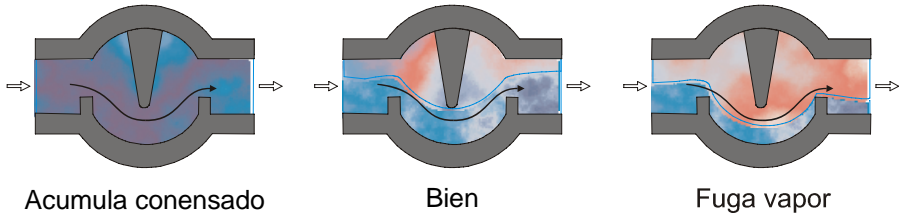
Existen 3 tipos de mirillas:

- » Simple
- » Sifónica
- » Electrónica

La mirilla simple generalmente se instala detrás del elemento de purga y solo permite verificar la existencia de flujo a su través pero generalmente no es posible diferenciar si se trata de vapor vivo o vapor de expansión.

La mirilla sifónica (figura 8.2) es una mirilla simple que incorpora un sifón interno. Se instala delante del elemento de purga y, por tanto, permite diferenciar

el estado del fluido (condensado o vapor vivo) pues por estar instalada delante del elemento de purga jamás puede ser vapor de expansión.



IMAGENES MOSTRADAS POR MIRILLA SIFÓN DELANTE DE ELEMENTO DE PURGA

Figura 8.2

En la mirilla sifónica pueden observarse tres situaciones diferentes (figura 8.2):

- » Mirilla totalmente anegada: el elemento de purga está inundado de condensado por falta de capacidad de descarga, obstrucción o bloqueo.
- » Mirilla en cuyo visor se observa que nivel de líquido enrasa el punto más alto del separador central de las dos ramas del sifón: el elemento de purga funciona correctamente, sin pérdida de vapor.
- » Mirilla en cuyo visor se observa que nivel de líquido no llega al punto más alto del separador sifónico: el elemento de purga fuga vapor, siendo tanto mayor la fuga cuanto mayor sea la distancia entre ambos niveles.

La utilidad de las mirillas se limita a bajas presiones y tiene el inconveniente de su rápido ensuciamiento y pérdida de transparencia debido a la progresiva deposición de partículas de óxido en su cristal, anulando su utilidad e incrementando el coste de mantenimiento.

Un tipo de mirilla más sofisticada es la de tipo electrónico, que consiste en un pequeño recipiente con un electrodo interno. Cuando existe condensado el electrodo cierra el circuito eléctrico por conductividad y lo abre cuando existe fuga de vapor. La señal es recogida por un equipo de medida exterior conectable al recipiente, pero su uso es prácticamente nulo debido a su elevado coste y escasa fiabilidad, pues el electrodo se cortocircuita al recubrirse de una película de óxido de hierro (magnetita) que anula su función de diagnóstico.

### ***Inspección por medida de tiempo:***

Este método solo es aplicable a trampas de vapor de funcionamiento cíclico y en él se mide el tiempo que transcurre entre dos descargas consecutivas de la trampa. No es necesario un cronómetro, basta contar mentalmente 101, 102, 103, ... para establecer con suficiente validez la duración del ciclo de la trampa en segundos.

Si no existen ciclos pueden ocurrir tres situaciones:

- » La trampa está fría, fuera de servicio o bloqueada.
- » La trampa está anegada de condensado y descarga condensado a baja temperatura ya sea por resultar infradimensionada o por excesiva contrapresión.
- » La trampa fuga vapor y su temperatura es muy elevada.

Si la trampa abre cíclicamente debe verificarse que la duración de su ciclo no sea excesivamente corta. En las trampas termodinámicas de disco la duración del ciclo no debe ser inferior a 30 sg; de otro modo, cuanto más corto sea dicho ciclo mas deteriorada estará su válvula interna y mayor será su pérdida de energía.

### ***Inspección por temperatura:***

La inspección de elementos de purga por medida exclusiva de temperatura suele conducir a errores, pues para aplicarla bien es fundamental tener más información de la que generalmente dispone la persona que realiza la inspección. Para que este método de diagnóstico sea fiable se deben conocer al menos los siguientes datos:

- » Tipo y funcionamiento del elemento de purga (descarga continua o intermitente, descarga subenfriada o a temperatura de saturación), que determina las limitaciones de ajuste de temperatura de descarga.
- » Tipo de servicio (protección de turbina, pozo de goteo, equipo de proceso, traceado normal, traceado crítico, calefacción de tanque ...). Determina la temperatura de descarga óptima del elemento de purga para cada aplicación.
- » Presión de entrada al elemento de purga. Su valor puede variar debido por la acción de válvulas de regulación en entrada a equipos o por variaciones de consumo. Por ejemplo, en redes de vapor de baja presión, ésta puede oscilar entre 2,5 bar y 4 bar, alterando la temperatura de saturación del vapor.
- » Presión de salida del elemento de purga; ésta suele ser siempre una incógnita, pues no basta conocer la presión en el colector general sino la existente justo a la salida del purgador, donde puede haber fuertes variaciones debidas a formación de vapor de expansión local en dicho punto. Su valor modifica la temperatura de descarga del purgador.



Las variaciones de presión de salida pueden depender de múltiples causas difícilmente identificables (existencia de fugas internas, dimensionado del colector localmente insuficiente, descarga a elevada temperatura con formación de mucho revaporizado, obstrucción parcial del colector o de válvula de bloqueo, purga manual aguas abajo, regulación del purgador inadecuada para su servicio, tipo del propio elemento de purga y de los elementos de purga más próximos, ...

Cuando se presenten dudas sobre la existencia de fugas deberán realizarse varias medidas de temperatura: delante, en el elemento de purga y detrás de él. Si la estación de purga funciona correctamente, la contrapresión es inferior a la presión del vapor y consecuentemente la temperatura de salida es también menor. Si la temperatura de entrada es correcta y no existe salto térmico entre entrada y salida de la estación de purga hay que suponer la existencia de fugas de vapor internas.

En resumen, el diagnóstico mediante medida exclusiva de temperatura puede ser erróneo si no se tienen en cuenta todas las variables citadas.

### ***Inspección por ultrasonido:***

Este es un método rápido y bastante fiable para detectar fugas internas de vapor en estaciones de purga. Consiste en captar el ultrasonido generado por el paso de vapor o gas a través de un orificio.

En efecto, el flujo de gas o vapor a gran velocidad a través de un estrechamiento genera ruido en un amplio rango de frecuencias, destacando el armónico que corresponde a una estrecha zona de frecuencias en torno a 39 KHz (+/- 2 KHz).

Para aplicar el método de ultrasonido es recomendable conocer el funcionamiento del elemento de purga, su tipo de descarga (continua o cíclica), y seleccionar la sensibilidad del instrumento correspondiente a la presión de vapor del elemento de purga; seguidamente aplicar la sonda de contacto firmemente sobre el elemento de purga para leer en su pantalla LCD el diagnóstico.

La figura 8.3 muestra el detector de ultrasonido BiTherm LeakTector LT3-EX, con sonda de contacto, sonda direccional opcional para detección de fugas de gases comprimidos, selector discontinuo de sensibilidad y batería recargable. Este equipo dispone de certificado de seguridad intrínseca "TEX II 1G Ex ia IIC T4 Ga" para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y su elevada sensibilidad permite diagnosticar fugas de vapor muy pequeñas.

La fiabilidad de este método depende de la calidad del detector de ultrasonidos, el modo de ajuste de sus escalas de medida y la experiencia del usuario. Para evitar errores de diagnóstico y simplificar su utilización se debe evitar el uso de detectores con selector continuo de escala, pues en ellos el ajuste de sensibilidad depende de la pericia del operario y los resultados no son siempre fiables.



Figura 8.3

Observar que el método de ultrasonido pierde fiabilidad cuando la contrapresión local detrás del elemento de purga es muy elevada y la presión diferencial se reduce a valores muy pequeños; en este caso la velocidad de paso del vapor puede reducirse tanto que no genere ultrasonido, invalidando este método de detección.

Advertir que en caso de duda, por ejemplo en los elementos de purga de elevado caudal donde se produce gran cantidad de revaporizado que puede llegar a generar ultrasonido e interpretarse como fuga de vapor vivo, se deben realizar dos lecturas, una sobre el propio elemento de purga y otra 1 ó 2 metros aguas abajo del mismo. Comparando ambas medidas, si el nivel de ultrasonido detectado es similar en todos los puntos es probable la existencia de fuga de vapor; por el contrario, si el ultrasonido se atenúa aguas abajo, éste sería producido el vapor de expansión, no por paso de vapor vivo, en cuyo caso debe interpretarse como estado aceptable.

En los purgadores de pequeño caudal la medición de temperaturas generalmente debe descartarse ya que la detección de ultrasonidos es suficientemente fiable.

#### ***Inspección por monitorización remota (SmartWatchWeb):***

El sistema de monitorización SmartWatchWeb, parte esencial de los modernos purgadores y válvulas inteligentes (capítulo 5.3), combina la medición de hasta cuatro parámetros (ultrasonido, temperatura, presión y contrapresión) para analizar en tiempo real, de forma remota, el funcionamiento y rendimiento energético de las estaciones de purga.

Por tanto, no se trata de un simple método de inspección sino de una tecnología, que proporciona la herramienta de diagnóstico y análisis necesaria para implementar la metodología de Mantenimiento Intensivo en redes de vapor (capítulo 9).

Las medidas se realizan automáticamente a intervalos regulares programables (habitualmente cada 5 segundos), guardándose toda la información obtenida en un servidor local o remoto, accesible a cualquier usuario autorizado.

En la parte superior de la figura 8.4 se muestra una pantalla de la interfaz gráfica del sistema; en ella los elementos de purga quedan agrupados por lazos. Cada lazo consta de 4 filas de cuadraditos coloreados, cada uno de los cuales se corresponde con un parámetro monitorizado (fila 1 ultrasonido, fila 2 temperatura, fila 3 presión y fila 4 contrapresión). El color de cada cuadradito identifica fácilmente el estado del parámetro correspondiente.

Observar que en las filas 3 y 4 de cada lazo sólo existe un pequeño número de cuadraditos; ello es debido a que sólo se requiere un reducido número de sensores de presión y contrapresión por lazo para obtener el mapa de presiones de la red de vapor y condensado.

Los registros históricos de las medidas efectuadas posibilitan analizar la evolución de cualquier incidencia en elementos de purga monitorizados y verificar su correcta interpretación; de esta forma se obtiene una alta fiabilidad de diagnóstico.

Pinchando en cualquier cuadradito de color se obtienen la información correspondiente al elemento de purga que representa, como puede verse en la parte inferior de la figura 8.4.

En esta nueva pantalla de la interfaz gráfica del sistema se puede analizar la evolución de los parámetros monitorizados en el elemento de purga seleccionado, en el periodo de tiempo deseado.

La combinación de toda la información y la disposición de históricos de medidas posibilitan hacer un análisis preciso, eliminando los errores de diagnóstico descritos en cada uno de los métodos anteriormente descritos considerados individualmente. En efecto, las variaciones detectadas en cada parámetro quedan registradas y su análisis permite identificar cualquier incidencia; además, fijando adecuadamente los umbrales de alarma, el sistema realiza el análisis predictivo de incidencias; de esta forma es posible evitar fallos y alargar considerablemente la vida útil de los elementos de purga.

Generalmente no es preciso consultar la información individual de cada elemento monitorizado más que si se requiere hacer un análisis exhaustivo del mismo. La interfaz dispone de un botón que realiza una auditoria instantánea de todos los elementos monitorizados y genera un listado de todas las incidencias detectadas para su inmediata reparación.

Finalmente existe una pantalla de alarmas donde es posible analizar cualquiera de ellas a lo largo del tiempo para mejorar el funcionamiento futuro de la instalación.

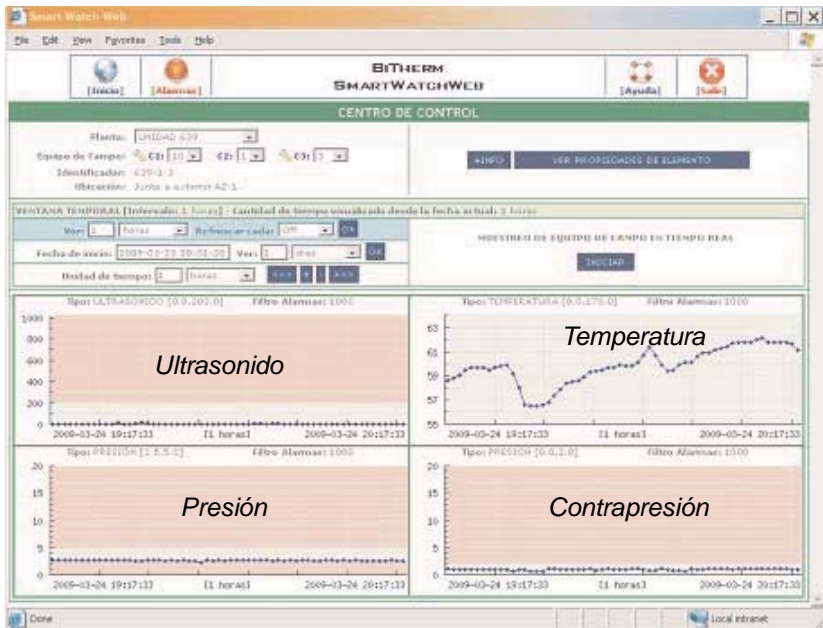
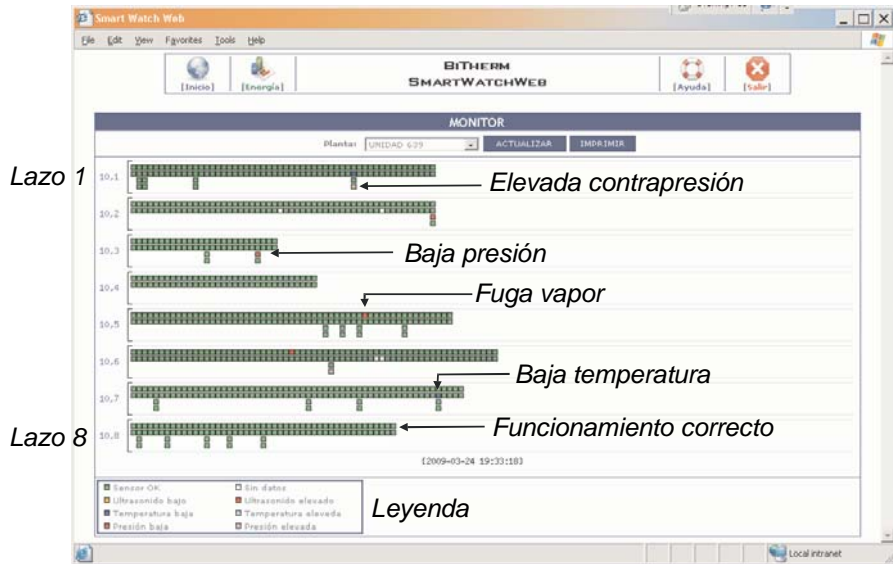


Figura 8.4

## 8.4 LIMITACIONES DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS

El método de inspección por ultrasonido es aplicable siempre que la fuga interna de vapor genere ultrasonido, para lo cual es necesario que el vapor pase a elevada velocidad a través del elemento de purga. Esta circunstancia se produce habitualmente excepto en cuando la contrapresión tiende a igualarse a la presión de entrada. Así, en redes de baja presión, cuando el número de elementos de purga que descargan en un colector es muy elevado y el número de elementos con fuga de vapor aumenta sin ser detectados oportunamente, puede llegarse a una situación en la cual el valor de la contrapresión local del colector de retorno se acerca mucho al valor de la presión del vapor y, consecuentemente la velocidad de paso del vapor a través del elemento de purga se reduce de tal manera que no llega a generar ultrasonido, siendo indetectable por éste método de inspección.

Obviamente la solución eficaz a este problema consiste en detectar fugas incipientes en elementos de purga, aumentando la frecuencia de inspección para prevenir la aparición de este problema. Sin embargo una elevada frecuencia de inspección conlleva un coste elevado. La mejor solución actual consiste en monitorizar los elementos de purga; de esta forma la inspección continuada detecta cualquier fuga de vapor a tiempo, quedando registrada en el histórico del elemento desde la fecha de su aparición.

## 8.5 VERIFICACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA

Antes de iniciar la inspección de elementos de purga es necesario comprobar el estado de los equipos de medida a emplear.

### *Detector de fugas de vapor por ultrasonido:*

El detector de ultrasonido deberá ser sometido a las siguientes verificaciones para garantizar su validez:

- » Calibración periódica: El detector debe ser verificado por el fabricante cada dos años para comprobar su correcto funcionamiento.
- » Comprobación diaria: Antes de utilizar el detector, y cada vez que se tenga duda sobre su buen estado de funcionamiento, se deberá realizar la siguiente comprobación:
  - a) Despegar ligeramente una válvula de limpieza de filtro en un purgador de baja presión para producir una muy pequeña fuga externa de vapor.
  - b) Encender el detector y seleccionar su escala de mayor sensibilidad o la correspondiente al rango de baja presión.

c) Aplicar firmemente la sonda de contacto del detector sobre el cuerpo de la válvula de limpieza de filtro del purgador y observar la lectura del equipo. El equipo debe detectar la fuga de vapor provocada por la apertura de la válvula (en el caso de utilizar un LeakTector LT3-EX una lectura mayor de CERO indicará que el equipo es operativo); en otro caso el equipo debe ser enviado al fabricante para su revisión.

Cuando se detectan fugas por ultrasonido debe verificarse que éste sea generado por el purgador y no proceda de vibraciones estructurales, o generado por otro elemento próximo. En zonas con presencia de vibraciones estructurales reducir la sensibilidad del detector y asegurarse de que el método de ultrasonido es aplicable. Para ello se procederá de la manera que sigue:

a) Aplicar la sonda de ultrasonidos en elementos próximos al purgador de forma que si la señal de ultrasonidos disminuye al alejarse del purgador, la fuente de estos es achacable al purgador y, por tanto, se diagnosticará como **"fuga purgador"**.

b) Si la señal de ultrasonidos no disminuye al aplicar la sonda en el entorno del purgador, el ultrasonido está producido por vibraciones estructurales; en este caso, para discriminar la posible fuga, se procederá a cerrar la válvula de vapor de la estación de purga, si después de esto desaparece el ultrasonidos en el purgador entonces se puede concluir que dicha señal estaba producida por el paso del vapor y, en consecuencia, la existencia de una fuga de vapor en el purgador queda confirmada.

### ***Pirómetro láser o de contacto:***

El pirómetro deberá ser sometido a las siguientes verificaciones para garantizar su validez:

- » Calibración periódica: El detector debe ser verificado por el fabricante cada dos años para comprobar su correcto funcionamiento.
- » Comprobación diaria: Antes de utilizar el detector, y cada vez que se tenga duda sobre su buen estado de funcionamiento, se deberá realizar la siguiente comprobación:
  - a) Seleccionar un equipo cuya temperatura sea conocida; puede ser un purgador de baja presión (3,5 bar) de un pozo de goteo cuyo funcionamiento sea correcto y comprobar que el pirómetro marca una temperatura situada entre 130°C y 145 °C; en otro caso el equipo debe ser enviado al fabricante para su revisión.

La medida de temperatura se utiliza algunas veces como complemento a la medida de ultrasonido, para confirmar el diagnóstico de fuga en un elemento de purga. En estos casos se debe medir la temperatura en la tubería delante y detrás del citado elemento y pueden darse dos situaciones:

- a) Las temperaturas anterior y posterior al elemento de purga son similares y próximas a la temperatura de saturación del vapor; el diagnóstico será "fuga vapor".
- b) Existe un salto térmico suficiente entre las temperaturas anterior y posterior al elemento de purga; el diagnóstico es "bien".

Cuando no se alcanza la temperatura deseada en el proceso debe analizarse si la estación de purga está bien dimensionada y su ajuste es correcto (esto debe ser realizado por un especialista).

## **8.6 PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA**

Atendiendo al tipo de estación de purga es preciso aplicar un protocolo adecuado con objeto de conseguir los mejores resultados. Se distinguen dos situaciones:

- » Inspección de estaciones de purga convencionales.
- » Inspección y reparación de estaciones de purga inteligentes.

### **8.6.1 INSPECCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA CONVENCIONALES**

Es aconsejable realizar su inspección periódica al menos una vez cada seis meses con objeto de reducir costes energéticos y de mantenimiento. El procedimiento de inspección recomendado es el siguiente:

1. Revisar el aspecto exterior de todos los elementos de la estación de purga (válvulas de aislamiento, filtro, elemento de purga, accesorios, conexiones, placa de identificación de la estación de purga, etc) y anotar cualquier deficiencia que se observe en ellos.
2. Anotar o verificar los datos del elemento de purga (número de identificación, marca, modelo, tamaño, conexión, presión de vapor, presión de retorno, tipo de aplicación, etc).
3. Observar el estado de las válvulas de aislamiento anterior y posterior. Si alguna de estas dos válvulas está cerrada el estado de la estación de purga se diagnóstica "**bloqueado**".
4. Observar el estado de las válvulas de bypass (si existen) y, si está abierta el diagnóstico es "**purga por bypass**".

5. Comprobar que el elemento de purga no esté frío ni bloqueado; Si su temperatura es próxima a la ambiente y la estación de purga no dispone de válvula de limpieza de filtro ni de purga anterior o posterior y ante la falta de mas información se diagnostica "**baja temperatura**". Si la estación de purga dispone de válvula de limpieza de filtro abrir ésta para soplar el filtro y comprobar si llega vapor al purgador, si no dispone de válvula de limpieza de filtro se comprobará la llegada de vapor mediante la válvula de purga anterior. Si llega vapor se diagnostica "**baja temperatura**", en caso contrario se diagnostica "**fuera de servicio**".
6. Si la estación de purga está operativa, seleccionar en el detector de ultrasonido la escala de presión correspondiente a ese elemento de purga y aplicar la sonda de contacto del detector de ultrasonido al cuerpo del elemento de purga para verificar su funcionamiento. Si el detector capta ultrasonido debe asegurarse que es generado por el elemento de purga y no procede de vibraciones estructurales, elevado nivel de revaporizado, fuga por bypass o por otro elemento próximo. Para ello debe aplicarse la sonda del detector en elementos próximos al inspeccionado para tratar de identificar la fuente de ultrasonido. En zonas con presencia de vibraciones estructurales reducir la sensibilidad del detector y asegurarse de que el método de ultrasonido es aplicable; en otro caso sustituir este método de verificación por otro. Una vez garantizada la validez del método y asegurado que el ultrasonido es causado por el elemento de purga pueden presentarse los siguientes casos:

**Trampas de vapor termodinámicas de disco y/o de descarga intermitente:**

Medir la duración en segundos entre dos descargas consecutivas y diagnosticar de acuerdo a lo siguiente:

- » Ultrasonido continuo < 20 % de la escala. Diagnóstico "**fuga parcial**".
- » Ultrasonido continuo > 20 % de la escala. Diagnóstico "**fuga continua**".
- » Ultrasonido discontinuo con ciclo > 30 sg en trampas de vapor termodinámicas. Diagnóstico "**aceptable**".
- » Ultrasonido discontinuo con ciclo entre 5 y 30 sg en trampas de vapor termodinámicas. Diagnóstico "**bajo rendimiento**".
- » Ultrasonido discontinuo con ciclo < 5 sg en trampas de vapor termodinámicas. Diagnóstico "**fuga parcial**".

**Purgadores termostáticos y/o de descarga continua:**

- » Ultrasonido = CERO. Diagnóstico "**bien**".



- » Ultrasonido continuo < 20 % de la escala. Diagnóstico "*fuga parcial*".
  - » Ultrasonido continuo > 20 % de la escala. Diagnóstico "*fuga continua*".
7. Cuando no se alcanza la temperatura deseada en el proceso debe analizarse si la estación de purga está bien dimensionada y su ajuste es correcto.
  8. Finalmente registrar todos los datos recogidos en campo en una aplicación informática especializada para gestión de mantenimiento de estaciones de purga (p. ej. TrapHelp ó SmartWatchWeb) a fin de obtener fácilmente estadísticas y listados de incidencias, pérdidas de energía, tipos de fallo, distribución por tipo de equipos, etc., en su defecto, utilizar una base de datos.
  9. Generar el informe final de inspección con recomendaciones para mejorar la eficiencia energética, funcionamiento y mantenimiento de la instalación.

NOTA:

Cuando se detectan fugas por ultrasonido debe verificarse que éste sea generado por el purgador y no proceda de vibraciones estructurales, o generadas por otro elemento próximo. En zonas con presencia de vibraciones estructurales reducir la sensibilidad del detector y asegurarse de que el método de ultrasonido es aplicable. Para ello se procederá de la manera que sigue:

Aplicar la sonda de ultrasonidos en elementos próximos al purgador de forma que si la señal de ultrasonidos disminuye al alejarse del purgador, la fuente de estos es achacable al purgador y por tanto se diagnosticará como "Fuga del purgador".

Si la señal de ultrasonidos no disminuye al moverse en el entorno del purgador, esta vendrá producida por vibraciones estructurales, ante la existencia de tal origen, para discriminar la posible fuga, se procederá a cerrar la válvula de vapor de la estación de purga, si desaparece la señal de ultrasonidos en el purgador se

### **8.6.2 INSPECCIÓN DE ESTACIONES DE PURGA INTELIGENTES**

En este caso la inspección de estaciones de purga se realiza continuamente de modo automático; no obstante, se recomienda realizar una inspección ocular con carácter periódico, por ejemplo semestralmente, para descartar posibles incidencias que no pueden ser detectadas por el propio sistema de monitorización (desmontaje de sensores de su fijación original, etc.)

Es importante observar que todas las posibles incidencias en estaciones de purga serán detectados y registrados por el sistema de monitorización siempre que hayan sido correctamente ajustados los umbrales de los parámetros monitorizados (ultra-

sonido, temperatura, presión y contrapresión), de otro modo los parámetros seguirán siendo medidos pero las alarmas no serán reales.

La correcta fijación de umbrales debe ser realizada analizando la aplicación de cada estación de purga para adecuarlos a cada caso particular con objeto de maximizar su eficiencia energética y optimizar el funcionamiento de la instalación.

El ajuste de umbrales de parámetros monitorizados debe fijarse de acuerdo con los siguientes criterios indicados a continuación; no obstante estos criterios se modificarán ajustándose a las características particulares de cada aplicación y la experiencia obtenida:

#### ***Umbral de ultrasonido:***

Los umbrales de ultrasonido del sistema de monitorización se fijan inicialmente durante el proceso de puesta en marcha ajustándose su valor al 20% y 30% del fondo de escala (sistema SmartWatch) y entre el 10% y 20 % del fondo de escala (sistema SmartWatchWeb).

En sensores de 8 bits de resolución (dispositivos SW-10) el umbral básico por defecto se fijará a un valor digital de 50. En caso de ruido estructural se fijará 50 unidades digitales por encima del nivel medio de ruido ultrasónico detectado por el sistema. En casos especiales debe fijarse el umbral en concordancia con el umbral de temperatura.

En sensores de 10 bits (nuevos dispositivos SWW-10) el umbral básico por defecto se fijará a un valor digital de 200. En caso de ruido estructural se fijará 200 unidades digitales por encima del nivel medio de ruido ultrasónico detectado por el sistema. En casos especiales debe fijarse el umbral en concordancia con el umbral de temperatura.

#### ***Umbral de temperatura:***

Este parámetro solamente puede aplicarse en purgadores BiTherm ya que otros purgadores no disponen de conexión directa para SmartWatch.

Su valor se fijará de acuerdo con la aplicación, pero debe tenerse en cuenta que el sistema mide la temperatura externa del purgador y que la interna es unos 80 ° superior. Así, por ejemplo, en aplicaciones de traceado el umbral típico de temperatura mínima es 40 °C (120 °C en el interior). En los sensores SWW-10, en los que también es posible fijar un umbral máximo de temperatura, este máximo debe ser unos 10 ° C por debajo de la temperatura de saturación, para garantizar la detección del deterioro progresivo del purgador mucho antes de que se llegue a producir su fallo; esto reduce enormemente el coste de mantenimiento.

En otras aplicaciones se utilizará el mismo criterio adecuando los umbrales a la temperatura del vapor en el proceso.

***Umbral de presión:***

El umbral de presión máxima de entrada se fija a un valor 30 % superior a la presión nominal de la red.

Aunque este parámetro no es importante, no debe confundirse con el umbral de presión mínima, que debe ser controlado para que siempre exista suficiente presión diferencial en el purgador.

***Umbral de contrapresión***

El umbral de presión de máxima de salida se fijará de acuerdo con el máximo valor de contrapresión admisible en cada estación de purga, que depende de la contrapresión existente y del tipo de elemento de purga. Por ejemplo, en aplicaciones de baja presión (3,5 bar) este umbral será 2,5 bar para purgadores termostáticos y de 1,5 bar para trampas de vapor termodinámicas; de esta forma se garantizará una presión diferencial mínima compatible con el tipo de elemento de purga y se evitarán problemas de funcionamiento de la instalación.

El umbral de presión mínima de salida se generalmente se ajusta a cero.

***Nota acerca de los umbrales del sistema de monitorización:***

Los umbrales iniciales del sistema de monitorización deben ser corregidos de acuerdo a la experiencia obtenida a lo largo del tiempo.

Cuando el sistema de monitorización carece de históricos de medidas (caso de la versión SmartWatch) los umbrales se podrían fijar un 10 % por encima de lo indicado anteriormente.

Cuando el sistema de monitorización dispone de históricos de medidas (caso de la versión SmartWatchWeb) el análisis de las curvas de evolución en el tiempo registradas por el sistema permite ir ajustando los valores de los umbrales adecuándolos a cada purgador con objeto de maximizar su eficiencia energética, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y optimizar el funcionamiento de la instalación.

## **CAPITULO 9**

### **EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MANTENIMIENTO**

#### **9.1 INTRODUCCIÓN**

Ya se ha citado en varios apartados la relación que existe entre el correcto funcionamiento de los elementos de purga y el rendimiento energético de la instalación de vapor. No obstante, existen ciertas aplicaciones muy frecuentes (trazado) en las que el purgador puede actuar como un elemento de ahorro de energía directo, sin más que ajustar la temperatura de descarga del purgador 40° C por debajo de la temperatura de saturación del vapor.

En otros casos también es posible aplicar esta técnica aunque con valores de ajuste de temperatura menos alejados de la curva de saturación del vapor. Por ejemplo, cuando se trata de purgar un pozo de goteo de una línea de distribución y existe una distancia vertical descendente superior a 2 metros, desde el pozo de goteo hasta el purgador, es posible reducir la temperatura de descarga con lo que se logra retener una pequeña columna de agua (inferior a 1 mt) antes del purgador, que disminuye las pérdidas por conducción al exterior en la zona afectada ya que el coeficiente de transmisión de calor agua-metal-aire es unas cien veces inferior al coeficiente de transmisión vapor-metal-aire. Adicionalmente, con ello se consigue alargar la vida del purgador y reducir la contrapresión en el colector de retorno.

Al hablar de ahorro de energía en redes de vapor hay que considerar el rendimiento de los elementos de purga, que depende de su autoconsumo y de sus pérdidas directas e indirectas de energía, asociadas al tipo de elemento de purga.

De otra parte, cualquier equipo necesita mantenimiento para conservar su buen estado de funcionamiento, pero en el caso de equipos que controlan energía, como las estaciones de purga, su mantenimiento debe añadir el objetivo de optimizar su eficiencia energética.

Hasta la aparición de los modernos purgadores inteligentes el mantenimiento de estaciones de purga era de tipo correctivo, si bien con realización de campañas de inspección periódica, habitualmente semestral, para detectar incidencias y fugas de vapor y seguidamente corregirlas.

La necesidad de reducir el consumo de energía, incrementar la eficiencia de los procesos productivos y reducir la emisión atmosférica de gases de efecto invernadero exige utilizar tecnologías cada vez más avanzadas, que aplicadas al campo de los elementos de purga ha conducido al desarrollo de purgadores inteligentes.

La utilización de este tipo de purgadores, proporcionan en tiempo real datos de funcionamiento eliminando la necesidad de realizar largas y laboriosas inspecciones en campo, este hecho ha modificado sustancialmente el concepto clásico de mantenimiento de estaciones de purga dando lugar a un nuevo concepto que se conoce como “Mantenimiento Intensivo”.

## 9.2 PÉRDIDAS DE ENERGÍA DIRECTAS E INDIRECTAS

Todos los purgadores tienen un cierto autoconsumo energético. Este depende, como es lógico, de su tamaño, del estado físico del fluido en su interior (vapor o condensado), de su principio de funcionamiento, del material y espesor de su cuerpo y de la temperatura de trabajo.

Este autoconsumo puede ser en forma de vapor vivo, o en forma de vapor condensado en su interior. La primera forma constituye una pérdida directa y fácilmente observable y medible mientras que la segunda forma de autoconsumo es más sutil y está enmascarada, pudiendo calificarla de pérdida indirecta (figura 9-1).

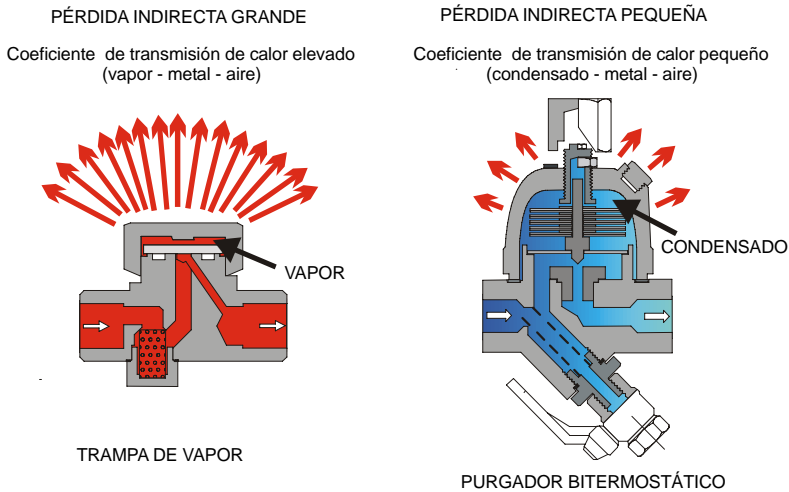


Figura 9.1

Pérdida directa es, por ejemplo, el escape de vapor vivo que se produce en cada ciclo de un purgador termodinámico, mientras que pérdida indirecta es la debida a la condensación de vapor dentro de una trampa de vapor de cubeta invertida.

En zonas húmedas, frías o con vientos el tamaño del elemento de purga incide bastante en su autoconsumo de energía. De todos los fenómenos atmosféricos la lluvia es lo que mas influye en el aumento de pérdidas de energía en elementos de purga, hasta el punto de que las multiplica de 5 a 10 veces respecto a un día seco en el caso de purgadores termodinámicos.

Los fenómenos atmosféricos afectan fuertemente a las trampas de vapor, por contener en su interior vapor vivo, mientras solo afectan débilmente a los purgadores termostáticos en cuyo interior únicamente existe condensado. Evidentemente la condensación de vapor dentro de las trampas de vapor representa una pérdida de energía indirecta mucho más acusada que la pérdida de energía debida a la transmisión de calor sensible de aquellos purgadores en cuyo interior solo existe condensado. Esto ocurre en todas las trampas de vapor (flotador y cubeta invertida) en los que siempre existe vapor en la parte superior de su cuerpo, vapor que es condensando por cesión con el exterior de modo continuo y sobre todo en la trampas de tipo termodinámico en cuya cámara de control superior queda retenida una pequeña cantidad de vapor que mantiene cerrado el purgador; al condensar este vapor de control por efecto de la lluvia, la trampa abre aún sin existencia de condensado descargando vapor vivo al colector.

Para paliar estas pérdidas se utilizan caperuzas que protegen las trampas de vapor de la lluvia; tener presente que los elementos de purga no deben calorifugarse jamás para no dificultar su capacidad de desaireación automática.

Los purgadores termostáticos son mucho menos sensibles a este tipo de pérdidas ya que en su interior únicamente existe condensado y generalmente su eficiencia sólo se ve afectada en un 15 % aproximadamente.

Otro aspecto interesante es el volumen del elemento de purga; cuanto mas voluminoso sea mayor será su pérdida indirecta de energía. También debe cuidarse el dimensionado interno, pues un orificio demasiado sobredimensionado perjudica la capacidad de regulación del elemento y provoca un mayor desgaste y deterioro incrementando costes energéticos y de mantenimiento.

Es frecuente pensar que las pérdidas de elementos de purga pequeños (1/2") son despreciables dado que en general se utilizan para purgar pequeños caudales, del orden de 10 Kg/h. Sin embargo esto es engañoso, pues en efecto individualmente una pérdida típica de 20 Kg/h a 30 Kg/h es pequeña en valor absoluto, pero dado que el número de elementos en esta situación puede elevarse a varios cientos o miles de aparatos la cuantía resultante es muy considerable. Téngase en cuenta que dicha pérdida sobre un consumo de vapor puntal de 10 Kg/h representa un derroche energético del 200 % al 300 % . Por esta razón, en la práctica, la utilización de purgadores inteligentes consigue espectaculares ahorros de vapor es grandes de redes de vapor con miles de purgadores de traceado y pozos de goteo.

### **9.3 PRESURIZACIÓN DE COLECTORES DE RETORNO**

La presurización de colectores de retorno tiene fuerte repercusión en la eficiencia de la red de vapor. El colector de retorno canaliza el condensado evacuado por los elementos de purga y la energía residual del condensado hasta la caldera, para ser transformado de nuevo en vapor aprovechando parte del calor sensible del líquido.

Las fugas internas de vapor en elementos de purga producen un aumento de presión en el colector de retorno, que lleva asociados serios problemas que afectan tanto al funcionamiento de la instalación, como a su eficiencia energética.

Entre los problemas más relevantes de la presurización de colectores citar:

- » Dificultad para retornar condensados hasta la caldera.
- » Disminuye la capacidad de evacuación de todo tipo de elementos de purga.
- » Modifica la temperatura de descarga en purgadores termostáticos.
- » Si la presurización supera el 60 % de la presión del vapor, provoca grandes pérdidas de energía en trampas termodinámicas.
- » Aumenta la temperatura en las tuberías de retorno y, con ello, sus pérdidas de energía por conducción y radiación a la atmósfera.
- » Favorece la cavitación de bombas de alimentación de condensado a caldera o de bombas intermedias de trasiego de condensados.
- » Originan golpes de ariete de tipo térmico y con ello la aparición de fugas en válvulas y accesorios.
- » Disminuye el rendimiento térmico global de la instalación por recirculación innecesaria de energía.

La presurización del colector de retorno es un fenómeno espontáneo asociado a la descarga de elementos de purga debido a la revaporización parcial del condensado (ver apartado 1-3).

La presurización de colectores de retorno es el problema más común presente en grandes instalaciones de refinerías y plantas químicas, donde existe gran cantidad de elementos de purga.

Puesto que la presurización del colector de retorno aumenta no solo por presencia de fugas internas de vapor vivo sino también por formación de vapor de expansión, que depende de la temperatura de descarga del condensado, es intuitivo pensar que cada tipo de purgador ejerce una influencia diferente en el valor de presurización final del colector.

Sin embargo, durante el diseño, a veces no se tiene en cuenta el tipo de elemento de purga en el cálculo de la presurización del colector de retorno, y ello da lugar a serios problemas de funcionamiento de toda la red, sobre todo cuando se trata de amplias redes de vapor y presiones de servicio relativamente bajas (por ejemplo redes de traceado por vapor a 3,5 bar).

De acuerdo con el apartado 6.5 de este manual, para dimensionar un colector de retorno se ha de calcular la cantidad de vapor de expansión teórica que circulará por él a una velocidad máxima de 15 m/s.

Ahora bien, aun cuando no existan fugas de vapor vivo por fallo de elementos de purga, en la formación de revaporizado no sólo interviene la temperatura de evacuación de condensado, sino también la inyección de pequeñas cantidades de vapor de control que algunos tipos de trampas de vapor requieren para su normal funcionamiento (trampas termodinámicas de disco, cubeta invertida, impulso, etc). Estas pequeñas inyecciones periódicas de vapor vivo en el colector revaporizan cierta cantidad adicional de condensado, muy difícil de estimar.

Al contrario, los purgadores termostáticos reducen la presurización del colector de retorno al ser menor la temperatura de evacuación, es decir, la energía residual que descargan a él.

En definitiva los cálculos teóricos realizados para el dimensionado de tuberías de retorno son válidos cuando corresponden a elementos de purga cuya temperatura de descarga sea igual a la de saturación del vapor. Cuando se usen purgadores termostáticos la presurización será inferior y cuando se utilicen trampas de vapor la presurización será inferior a la teórica.

En la práctica, con frecuencia las instalaciones sufren ampliaciones posteriores pero el colector de retorno permanece invariable. Ello, unido al deterioro por envejecimiento, va agravando la situación inicial hasta llegar a una situación de colapso de la red, siendo necesario descargar el condensado a la atmósfera, dando lugar a grandes pérdidas de energía.

Una de las características mas perjudiciales de la presurización de colectores de retorno es su rápida expansión por toda la red, pues aunque se inicie en puntos aislados la descarga de unas trampas de vapor afectan localmente a otras próximas, que incrementan sus fugas de vapor, produciendo un efecto multiplicador que se propaga con rapidez por toda la red de condensado.

Este efecto se atenúa en instalaciones con purgadores termostáticos pues la presurización local del colector dificulta o restringe la descarga de otros purgadores que descarguen en esa zona, evitando la rápida expansión del fenómeno.



### 9.4 MANTENIMIENTO INTENSIVO DE ESTACIONES DE PURGA

El esquema clásico de mantenimiento preventivo-correctivo de estaciones de purga en grandes complejos petroquímicos resulta un proceso muy laborioso debido a la existencia de miles de elementos a revisar. El proceso consta de dos operaciones secuenciales: primero se realiza la inspección periódica de todos los elementos de cada estación de purga, generándose un informe final de inspección, y una vez conocido su estado e incidencias detectadas se procede a su reparación.

La gran cantidad de elementos a revisar hace aconsejable dividir la población total de elementos en grupos más fáciles de manejar. No obstante, este proceso consume mucho tiempo y las reparaciones siempre se producen con meses de retraso respecto a la aparición de las incidencias detectadas. El mantenimiento intensivo modifica sustancialmente este esquema de trabajo, pues la utilización de estaciones de purga inteligentes elimina las tareas de inspección manual periódica y proporciona en tiempo real toda la información sobre cualquier incidencia.

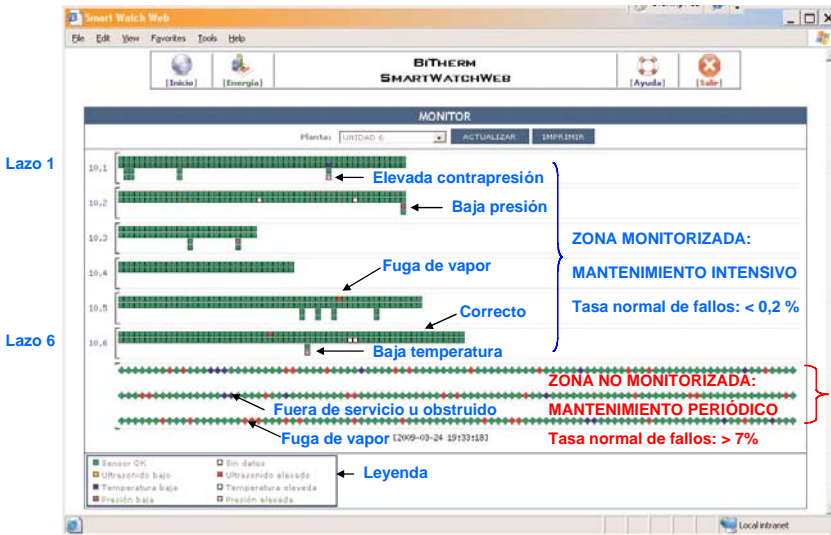


Figura 9.2

La característica fundamental del mantenimiento intensivo es reunir los conceptos de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en un único proceso, en el cual todas las anomalías son detectadas tan pronto como aparecen y pueden ser reparadas en menos de 24 horas con la mínima exigencia de recursos humanos. La figura 9-2 muestra una de las múltiples herramientas de la interfaz gráfica de gestión del mantenimiento intensivo, donde las incidencias quedan identificadas por un código de colores.

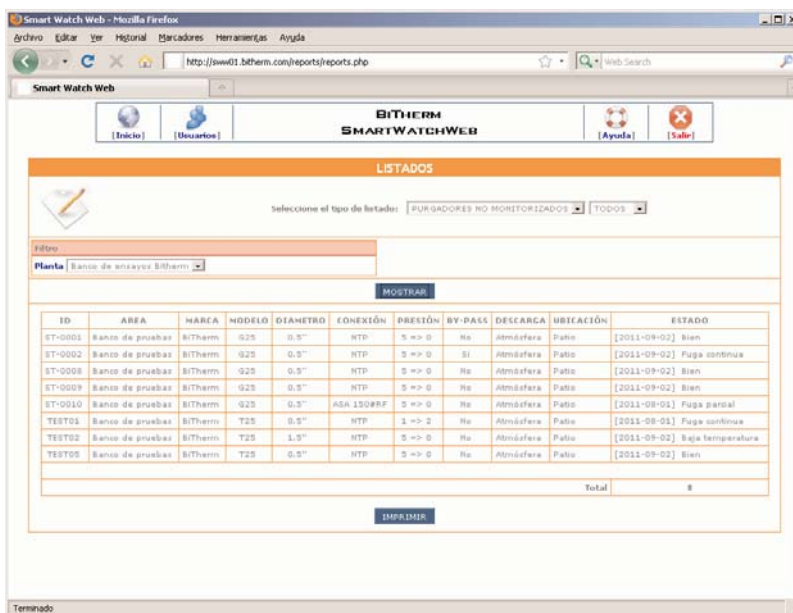


Figura 9.3

Como se observa dicha figura, la interfaz de gestión remota de mantenimiento intensivo permite también gestionar el mantenimiento clásico de estaciones de purga no monitorizadas. Toda la información de ambos tipos de estaciones de purga es registrada en el sistema y es en todo momento accesible al usuario, quién puede realizar auditorías energéticas instantáneas, informes de reparaciones realizadas o pendientes, etc. La figura 9-3 muestra, por ejemplo, un listado del estado de los elementos de purga, que puede ser filtrado por tipo de incidencia.

## 9.5 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO INTENSIVO

La experiencia demuestra que los elementos sometidos a mantenimiento intensivo multiplican por dos o por tres su vida útil respecto a la esperada bajo el esquema de mantenimiento convencional, pues el rápido deterioro por erosión que producen las fugas internas de vapor no detectadas a tiempo es evitado al aplicar el método de mantenimiento intensivo.

El mantenimiento intensivo de estaciones de purga añade a los objetivos propios del mantenimiento convencional los siguientes:

- » Predecir, prevenir y/o corregir cualquier incidencia en estaciones de purga desde un múltiple enfoque (funcional, energético, etc).

- » Reducir los costes de mantenimiento (se anulan, pues los beneficios que genera son muy superiores a los costes totales de mantenimiento).
- » Incrementar la fiabilidad y disponibilidad de la red de vapor y condensado.
- » Incrementar las condiciones de seguridad de bienes y personas.

## **9.6 MANTENIMIENTO INTENSIVO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Los aspectos medioambientales y la utilización eficiente de recursos escasos como el agua son los motores que impulsarán las actuaciones en el mundo energético en los próximos años. En la Cumbre Climática de Cancún se acordó que la temperatura media global no supere los 2 °C en el año 2050 y, para ello, se deben llevar a cabo acciones tendentes a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; entre ellas, la más destacable es la eficiencia energética pues contribuye a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de productos energéticos de alto valor en el mercado, además del consumo de agua, bien escaso a nivel mundial.

Alcanzar ese objetivo va a exigir actuaciones en todos los países en los próximos años, y especialmente a partir del 01/01/2012, año en el que finaliza el Protocolo de Kyoto. La Unión Europea, motor de actuaciones medioambientales a nivel mundial, ha asumido el compromiso firme y vinculante para todos sus Estados Miembros de conseguir en 2020 que un 20 % de la energía total sea de origen renovable, mejorar la eficiencia energética un 20 % y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> otro 20 % respecto a 2008. Presumiblemente, actuaciones similares y aún más exigentes se van a acordar en próximas cumbres climáticas. Los Cambios Climáticos visibles en numerosos países (grandes inundaciones, grandes tornados, etc) van a impulsar nuevas medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, siendo la eficiencia energética la herramienta más sencilla y rentable reconocida por la Agencia Internacional de la Energía, seguidas de las energías renovables, la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y la energía nuclear.

Los grandes complejos energéticos, deben anticiparse a los cambios que se avecinan de forma inteligente, mejorando de forma rentable la eficiencia energética de los procesos para reducir dichas emisiones. Como es sabido, la Industria Petroquímica consume gran cantidad de energía en forma de vapor, mayoritariamente generado a partir de combustibles fósiles. La eficiencia energética en redes de vapor está fuertemente condicionada por la degradación energética del vapor, que es controlada por miles de elementos de purga por lo que globalmente constituyen uno de los mayores equipos consumidores de energía en dichas industrias. Adicionalmente, las fugas de vapor y la ineficiencia energética de los elementos de purga causan fuertes pérdidas de energía, incremento de consumo de agua tratada, incremento de costes de producción y mantenimiento, así como de fuertes emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>.

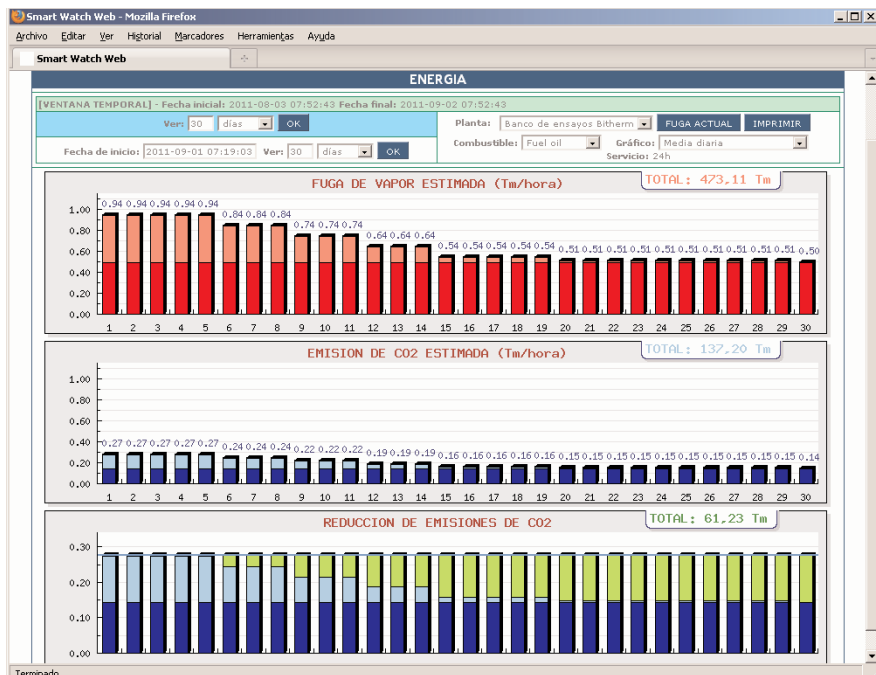


Figura 9.1

Está demostrado que el Mantenimiento Intensivo de redes de vapor es actualmente la herramienta con mayor repercusión en ahorro de energía, llegando a producir incrementos de eficiencia energética entre el 8 % y el 15 %, con la correspondiente reducción de emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero.

La figura 9-4 muestra, a modo de ejemplo, el gráfico de energía de la interfaz gráfica de gestión del Mantenimiento Intensivo.

Cada barra representa la fuga diaria de vapor en estaciones de purga; la parte inferior de color mas intenso de cada barra corresponde a estaciones de purga no monitorizadas y la parte superior, de color menos intenso, corresponde a estaciones de purga inteligentes.

La gráfica superior muestra la evolución típica de fugas de vapor tras la implantación del mantenimiento intensivo. La gráfica del centro corresponde a la evolución de emisiones de CO<sub>2</sub> y la gráfica inferior muestra la línea base inicial (línea horizontal superior) y la evolución (zona de color verde) y acumulado de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo seleccionado. El siguiente ejemplo da una idea de la magnitud económica de este asunto:

En Europa el coste energético del refino de crudo representa entre el 50% y 60% de su coste total; el 25% de esa energía corresponde al consumo de vapor. Es decir, el consumo de vapor supone entre el 12,5% y el 15% del coste total del refino de crudo. Puesto que ese vapor está controlado por elementos de purga resulta obvio que incrementar un 15% su eficiencia energética reducirá entre 1,87% y 2,25% el coste total de refino de crudo (sin contar el beneficio adicional por reducción de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>).

De otra parte, además de ser responsables directos de la eficiencia energética de la instalación de vapor, los elementos de purga intervienen en los siguientes aspectos:

- » Inciden en el aumento de contrapresión de los colectores de retorno
- » Influyen en la aparición de golpes de ariete térmicos
- » Afectan la vida útil de tuberías y accesorios de la instalación.
- » Controlan la degradación energética del vapor y, por tanto, influyen en la generación de emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>
- » Contribuyen a la concienciación general sobre el uso correcto de la energía.

El siguiente dato resalta la importancia económica de este asunto:

Un solo elemento de purga de 1/2" instalado en una línea de vapor de baja presión con una pequeña fuga de vapor de 42 Kg/h, representa un coste energético de 368 Tm/año de vapor y una emisión atmosférica de 103 Tm/año de CO<sub>2</sub>.

Para realizar estimaciones de fugas de vapor en elementos de purga puede utilizarse la herramienta informática "Simulación de cálculo de fugas de vapor" en el siguiente enlace:

<http://www.smartwatchweb.com>

## **9.7 CONSEJOS SOBRE REPARACIÓN DE ESTACIONES DE PURGA**

Conviene recordar que las reparaciones deben realizarse siempre utilizando piezas de repuesto originales suministradas por el fabricante, evitando reparar piezas deterioradas a menos que posteriormente se realicen los tratamientos térmicos y superficiales a que fueron sometidas durante su fabricación inicial.

Cuando se desmota un elemento de purga es aconsejable sustituir todas las juntas existentes entre superficies de unión para evitar fugas posteriores.

Para reducir costes de reparación y mejorar el funcionamiento de la instalación es aconsejable utilizar, siempre que sea posible, purgadores bitermostáticos de presión equilibrada y mecanismo de ajuste externo. Esto alarga considerablemente la vida útil y reduce enormemente el consumo de repuestos ya que sus reparaciones se realizan mediante un simple ajuste externo, que se realiza sin interrupción del vapor y no precisa ningún repuesto.