

¿QUE ES EL VAPOR ?

Como otros elementos, el agua existe en estado sólido (hielo), líquido (agua) y gaseoso (vapor). En este capítulo, estudiaremos los estados líquido y gaseoso y el paso de uno hacia otro.

Cuando se aplica energía térmica al agua, su temperatura aumenta hasta alcanzar cierto valor a partir del cual el agua no puede permanecer en estado líquido. Es lo que llamamos el punto de "saturación". Si se continua aplicando energía, una parte del agua entra en ebullición y se transforma en vapor. Se necesita una cantidad relativamente importante de energía para lograr esta evaporación. En el momento del paso de estado líquido a estado gaseoso, el agua y el vapor están a la misma temperatura.

Inversamente, cuando la energía acumulada por el vapor se libera, se produce un fenómeno de condensación, es decir de formación de agua a la misma temperatura que el vapor.

¿PORQUÉ EL VAPOR ?

Es durante la revolución industrial cuando empezamos a utilizar vapor en la transmisión de energía. Después de haber servido para la cocción de alimentos, su utilización se ha extendido rápidamente a todas las aplicaciones industriales que necesitaban calor.

El vapor se obtiene por evaporación del agua, es un producto poco molesto y abundante en la mayor parte de las regiones del mundo. Se puede ajustar con precisión su temperatura modificando su presión, con ayuda de electroválvulas y válvulas por ejemplo. Su relación energía vehiculada/masa es especialmente interesante, y en la fase de condensación del vapor, se obtiene un flujo de energía sustancial (hacia el elemento calentado). Por eso una instalación que utilice este calor puede ser de dimensiones reducidas.

FORMACIÓN DEL VAPOR

Para explicar la formación del vapor, consideremos la experiencia ficticia ideal siguiente (ver Figura 1) :

Recubrimos un recipiente cilíndrico, cerrado en el extremo inferior, con un material aislante al 100 %, para evitar toda pérdida de calor. Vertimos en ese recipiente 1 kg de agua a la temperatura de fusión del hielo (0°C). Utilizaremos este valor como punto de referencia en nuestra experiencia decidiendo que la cantidad de calor del agua a esta temperatura, o entalpía, es igual a cero. Si sometemos el agua a una fuente de calor, su temperatura aumenta hasta alcanzar los 100°C (el extremo superior del recipiente está abierto para que solo la presión atmosférica actúe sobre el agua). Si continuamos añadiendo calor (aumento de entalpía) el agua no puede permanecer en estado líquido y entra en ebullición hasta transformarse en vapor.

La entalpía total de cada kilogramo de agua líquida al punto de ebullición, se le llama "entalpía específica del agua saturada". Se le representa por el símbolo "hf". La entalpía necesaria para transformar cada kilogramo de agua en vapor se le llama "entalpía específica de evaporación". Se le representa con el símbolo "hfg".

La entalpía total de cada kilogramo de vapor es pues la suma de estas dos entalpías. Se le llama "entalpía específica del vapor", representada por el símbolo "hg". Tenemos : $hg = hf + hfg$

Una vez que toda la entalpía específica de

evaporación (hfg) ha sido añadida al kilogramo de agua en nuestro cilindro, todo el agua se transformará en vapor a la presión atmosférica.

El volumen de este vapor será netamente superior al del agua líquida (1600 veces mas). En estado líquido, las moléculas de agua están mucho mas cerca las unas de las otras que en estado gaseoso. Se puede considerar que la evaporación es debida a un aporte de energía sobre cada molécula, que es suficiente para romper las uniones que enlazan estas moléculas entre si, lo que les permite pasar del estado líquido en el recipiente al estado gaseoso.

Consideremos ahora la situación siguiente : si la presión ejercida sobre el líquido aumenta, las moléculas tendrán mas dificultades para liberarse. Será preciso entonces aportar mas energía para que puedan romper sus uniones y pasar al estado gaseoso. Esto significa que la temperatura del agua superará netamente los 100°C antes de entrar en ebullición.

Es exactamente lo que se produce en la práctica. Si nuestro recipiente imaginario está equipado de un pistón sin fricción y si situamos una masa sobre el pistón para ejercer una presión sobre el agua, se podría aumentar la temperatura mas allá de 100°C antes de que se produjera la evaporación. No obstante, para una presión dada, existe una temperatura a partir de la cual el agua no puede permanecer en estado líquido. Para toda entalpía superior a "la entalpía específica del agua saturada", una parte del líquido se evapora.

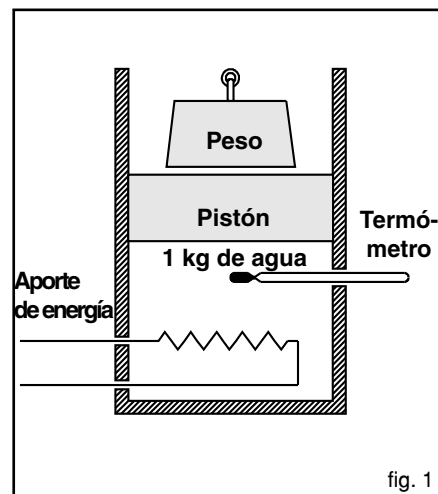
Inversamente, si la presión ejercida sobre el agua es inferior a la presión atmosférica normal, las moléculas podrán liberarse mas fácilmente. La cantidad de energía que necesitan es mas baja: así, la temperatura de ebullición y "la entalpía del agua saturada" se reducen.

DEFINICIONES

Entalpía

Término que define la energía total de un fluido como el agua o el vapor, adquirida según su presión y su temperatura en un momento dado y en condiciones precisas.

La unidad de medida de la energía es el julio (símbolo : J). Dado que un julio representa una muy pequeña cantidad de energía, se utiliza generalmente el kilojulio (kJ).



Entalpía específica

Es la entalpía (energía total) de una masa unitaria (1 kg). La unidad comúnmente utilizada es el kJ/kg.

Capacidad calorífica específica

Es la unidad utilizada para medir la capacidad de una sustancia de absorber calor. Corresponde a la cantidad de energía (julios) necesaria para aumentar 1 kg de 1 K (Kelvin). La capacidad calorífica específica se expresa en kJ/kgK.

El agua tiene una capacidad calorífica específica de 4,186 kJ/kgK. Esto significa que un aumento de la entalpía de 4,186 kJ elevará la temperatura de 1 kg de agua un 1 K.

Presión absoluta y presión relativa

El estado teórico del vacío perfecto a presión nula es el "cero absoluto". Por esta razón la presión absoluta es la presión con respecto al cero absoluto.

Por ejemplo, la presión ejercida por la atmósfera es de 1,013 bar abs. a nivel del mar. La presión relativa es la presión indicada en un manómetro standard con el que podemos equipar un circuito de vapor. Dado que la presión relativa corresponde a la sobrepresión con respecto a la presión atmosférica, el cero que figura en un manómetro equivale aproximadamente a 1,013 bar abs.

Así, una presión de 3 bar abs. representará 1,987 bar mas 1,013 bar absolutos de presión atmosférica.

Calor y cambio de calor

El calor siendo una forma de energía, está incluido en la entalpía de los fluidos. El cambio de calor es el flujo de entalpía que se produce entre dos cuerpos con temperaturas diferentes cuando se ponen en contacto.

Entalpía del agua saturada

Supongamos ahora que se alimenta una caldera con agua a la presión de 10°C y que el agua entra en ebullición a 100°C. Como hemos visto anteriormente, serán necesarios 4,186 kJ para aumentar 1°C la temperatura de cada kg de agua. Si se desea hacer pasar la temperatura de cada kg de agua contenida en la caldera de 10°C a 100°C (es decir un incremento de 90°C), sería necesario aumentar la entalpía a $90 \times 4,186 = 376,74 \text{ kJ}$. Si la caldera contiene 10000 kg de agua (es decir 10000 litros), el aumento de entalpía para llevar este agua al punto de ebullición será $376,74 \text{ kJ/kg} \times 10000 \text{ kg} = 3767400 \text{ kJ}$.

No olvidemos que este caso figurado no representa la entalpía del agua saturada sino solamente el aumento de entalpía necesario para hacer pasar la temperatura de 10 °C a 100 °C. El origen que figura en los cuadros de vapor es el agua a 0°C, lo cual, en nuestro ejemplo, corresponde a una cantidad de calor igual a cero (si la midiésemos del cero absoluto a -273°C, la cantidad de calor absoluto, sería evidentemente considerable).

La entalpía del agua saturada a 100°C será entonces $100 \times 4,186 = 418,6 \text{ kJ}$.

Entalpía de evaporación

Supongamos ahora que todo el vapor formado en la caldera puede escaparse libremente a la atmósfera. Cuando el agua alcanza 100°C, el cambio de calor entre la fuente de calor y el agua continua pero la temperatura no aumenta mas. El calor añadido es utilizado para la transformación del agua en vapor.

La entalpía que provoca el paso del estado líquido al estado gaseoso sin cambio de temperatura se llama "entalpía de evaporación". La entalpía de evaporación es la diferencia entre la entalpía del agua saturada y la del vapor seco saturado.

Entalpía del vapor saturado

La entalpía del vapor generado en nuestra caldera está compuesta por dos entalpías diferentes. La suma de estas dos entalpías se llama "entalpía del vapor saturado".

Para cada kg de vapor a 100°C y a presión atmosférica, la entalpía del agua saturada es de 419 kJ, la entalpía de evaporación es de 2 257 kJ y la del vapor saturado es pues de 2 676 kJ. Estos valores están extraídos de los cuadros de vapor.

PRESION EJERCIDA POR EL VAPOR

Hemos hablado del termino "presión atmosférica". Se trata simplemente de la presión ejercida por la atmósfera de la tierra sobre cualquier objeto y en cualquier dirección. La unidad de presión es el bar (1 bar = 100 kPa). Cuando el agua llega a 100°C, la presión ejercida por la atmósfera es de 1,01325 bar. Este valor está tan próximo a 1 que se tiene la costumbre de decir que la presión atmosférica es igual a 1 bar. Esta aproximación se adapta a casi todas las aplicaciones.

Volviendo a nuestro recipiente equipado de su pistón sin rozamientos (Figura nº 1). Cuando calentamos el agua en el recipiente hasta producir vapor, este se acumula bajo el pistón hasta que su presión y la del agua equilibran la presión ejercida por el peso del pistón. Si continúa formándose vapor, este ejercerá una presión suplementaria sobre el pistón y le hará ascender, la presión permanece constante. Si pudiéramos añadir agua, se mantendría el nivel de agua soltando simultáneamente vapor, lo que haría subir mas aún el pistón.

Hemos comprobado que si el recipiente o la caldera funciona a una presión superior a la presión atmosférica, la temperatura del agua saturada y del vapor superará los 100°C. Si la presión es de 10 bar abs., la temperatura del agua saturada será de 180°C. Para poder alcanzar esta temperatura, es preciso que el agua reciba una mayor "entalpía de agua saturada". Por otro lado, cuanto mas aumente la presión, mas disminuirá la entalpía de evaporación necesaria para transformar el agua saturada en vapor.

Cuando la presión es elevada, las moléculas de vapor están mas juntas y necesitan menos energía para desligarse del agua líquida (tienen ya un fuerte nivel de energía).

(De hecho, con presión muy alta — es decir por encima de 221 bar — el nivel de energía de las moléculas de vapor es exactamente el mismo que el de las moléculas de agua y la entalpía de evaporación llega a ser nula).

Volumen de vapor

Si 1 kg de agua (o sea 1 litro) se transforma totalmente en vapor, el resultado obtenido será exactamente de 1 kg de vapor. No obstante, el volumen ocupado por una masa depende de su presión. A la presión atmosférica, 1 kg de vapor ocupa cerca de 1,673 m³. A una presión de 10 bar abs., este kg de vapor no ocupará mas que 0,1943 m³. El volumen de 1 kg de vapor a una presión dada se llama el "volumen específico" (símbolo Vg).

Cuanto mas aumente la presión, menor es el volumen ocupado por una masa de vapor. Esto

es lo que representa la Figura nº 2.

TIPOS DE VAPOR

Vapor seco y vapor húmedo

Los cuadros de vapor indican las propiedades de lo que llamamos corrientemente "el vapor seco saturado". Se trata de vapor que hemos evaporado completamente, al eliminar todas las gotas de agua líquida.

En la práctica, el vapor contiene frecuentemente gotas minúsculas de agua, lo que no nos permite calificarle como vapor saturado seco. Sin embargo, es primordial que el vapor utilizado en los procedimientos industriales o para calefacción sea lo mas seco posible.

La calidad del vapor se caracteriza por su "parte de sequedad". Se trata de la proporción de vapor completamente seco que se encuentra en el vapor en cuestión.

El vapor se convierte en "húmedo" cuando contiene gotas de agua en suspensión. Estas gotas no tienen entalpía específica de evaporación, tienen una cierta masa pero ocupan un espacio despreciable. Es por lo que el vapor húmedo ocupa un volumen inferior al del vapor saturado seco.

El vapor es un gas transparente pero las gotas de agua le dan un aspecto blanco y nebuloso porque reflejan la luz (son pues las gotas de agua en suspensión las que hacen visible al vapor húmedo).

Vapor recalentado

Mientras contenga agua, la temperatura del vapor saturado corresponde a la cifra indicada para esta presión en el cuadro de vapor. Mientras tanto, si el intercambio de calor continua después de que todo el agua se haya evaporado, la temperatura del vapor aumenta. Calificamos entonces el vapor de "recalentado" y la temperatura de este "vapor sobrecalentado" será forzosamente superior al del vapor saturado a la presión correspondiente.

El vapor saturado se condensa muy fácilmente sobre cualquier superficie que tenga una temperatura inferior a la suya. Disminuye así su entalpía, que, como acabamos de ver, constituye la mayor parte de su energía. Por otro lado, provocando una bajada de temperatura, el vapor recalentado pierde una parte de su entalpía. No se produce ninguna condensación mientras que no se alcance la temperatura de saturación. El ritmo con el que la energía será vehiculada a partir del vapor recalentado es con frecuencia inferior al que obtenemos con el vapor saturado, incluso si la temperatura del vapor recalentado es superior.

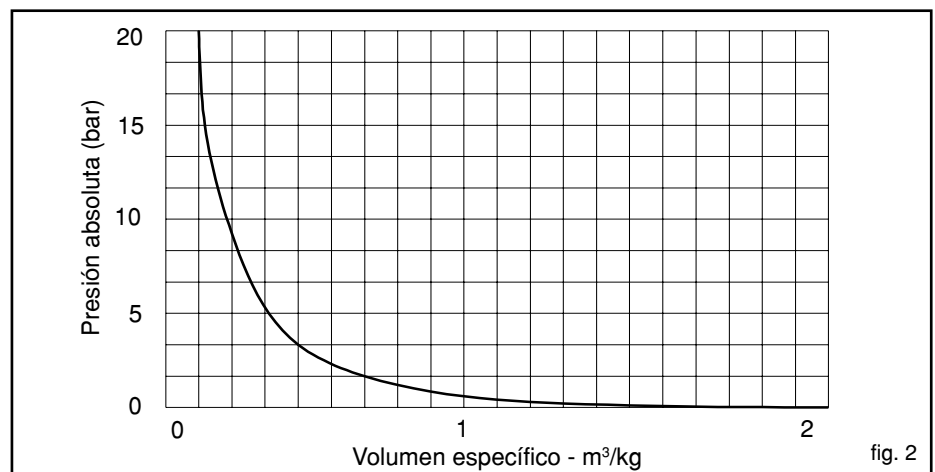


fig. 2

PRODUCCIÓN DE VAPOR

La energía química que contiene el carbón, el gas o cualquier combustible de caldera se transforma en energía calorífica cuando el combustible se quema. Es la pared del horno de la caldera la que transmite esta energía calorífica al agua. La temperatura del agua aumenta cuando le transmitimos esta energía y, cuando se alcanza el punto de saturación, el agua hierve.

La energía calorífica añadida, que tiene por efecto aumentar la temperatura del agua, se llama "entalpía del agua saturada" (símbolo hf). En el punto de ebullición, el agua se llama "saturada".

Si el cambio de calor continua entre la pared del horno y el agua, la entalpía suplementaria producida por este cambio no aumenta la temperatura del agua, pero provoca su evaporación. El agua pasa entonces del estado líquido al estado gaseoso. La entalpía que provoca este cambio de estado sin cambio de temperatura se llama "entalpía de evaporación" (símbolo hfg).

De este modo, el vapor generado en nuestra caldera contiene dos clases de entalpías : la entalpía del agua saturada y la entalpía de evaporación. Sumando una y otra, se obtiene "la entalpía del vapor saturado" (símbolo hg).

Tenemos : $h_f + h_{fg} = h_g$

La Figura 3 muestra la entalpía del vapor saturado a la presión atmosférica.

Comparémosla con la Figura 4 que muestra la entalpía modificada del vapor saturado a una presión mas elevada (10 bars abs.).

En la Figura 4, la entalpía de cada kg de vapor saturado ha aumentado ligeramente (aumento de 102,1 kJ). Por el contrario la entalpía del agua saturada ha aumentado netamente mas (de 343,8 kJ) mientras que la entalpía de evaporación ha disminuido (de 247,7 kJ).

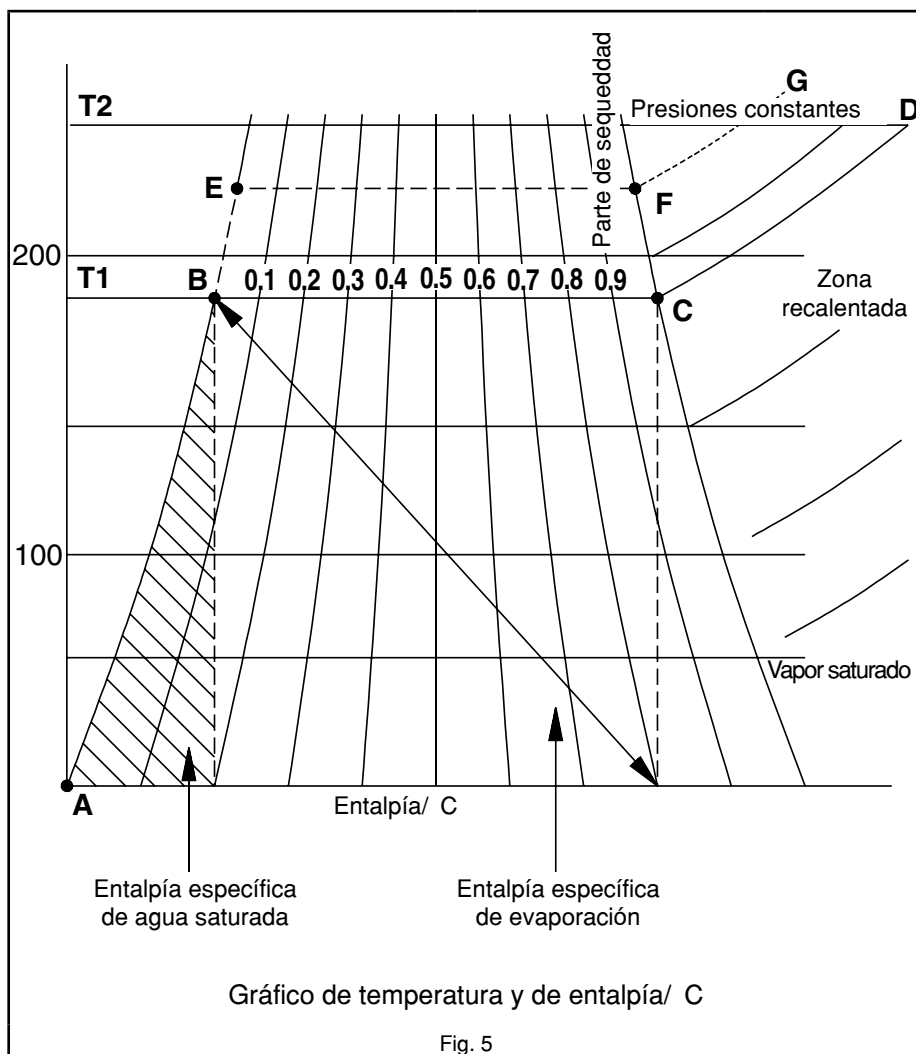
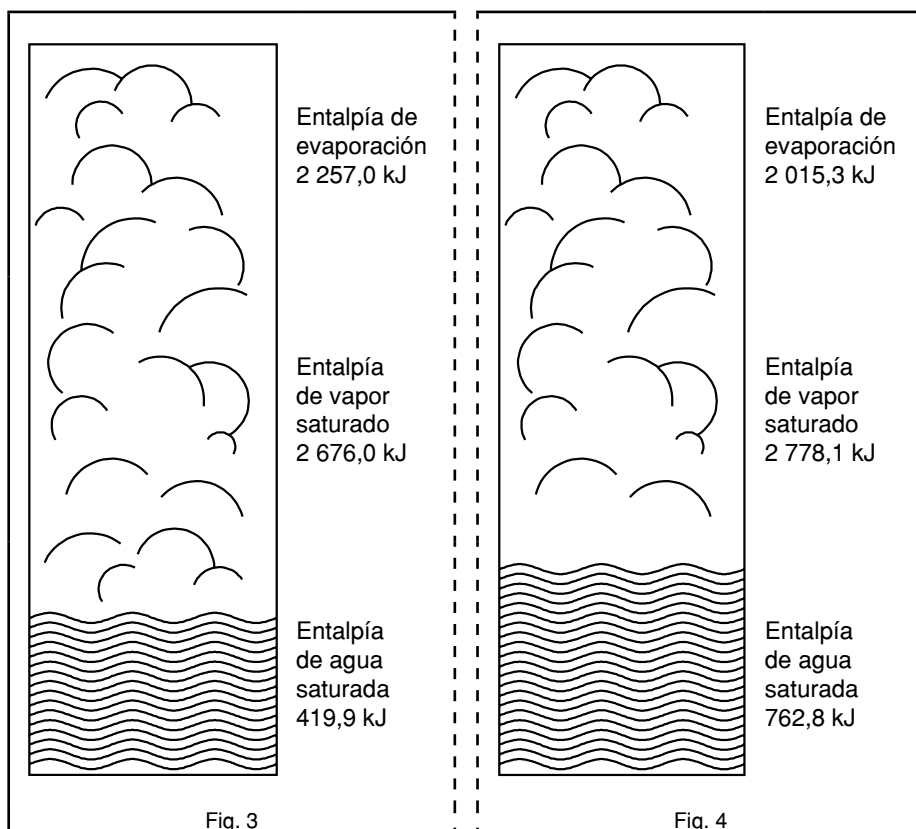
Deducimos que :

- I) Cuando la presión del vapor aumenta :
 - la entalpía del vapor saturado aumenta ligeramente
 - la entalpía del agua saturada aumenta
 - la entalpía de evaporación disminuye
- II) Cuando la presión del vapor disminuye :
 - la entalpía del vapor saturado disminuye ligeramente
 - la entalpía del agua saturada disminuye
 - la entalpía de evaporación aumenta

Así, cuanto mas disminuye la presión del vapor, mas aumenta la entalpía de evaporación.

El diagrama simplificado de Mollier (Figura 5) representa el paso del agua a vapor y los efectos del aumento de la entalpía a cada una de estas fases. El eje vertical indica la temperatura. El eje horizontal corresponde a la entalpía dividida por la temperatura a la cual la entalpía es añadida. La utilización de este coeficiente un tanto artificial significa que la zona situada bajo las líneas del gráfico representa la entalpía. Es pues mas simple mostrar estas informaciones sobre un diagrama que sobre los cuadros de vapor.

Sea A el punto del gráfico donde el agua a 0°C tiene una entalpía nula. A medida que aumentamos la entalpía, la temperatura se eleva a lo largo de la curva AB. El punto B es el punto de saturación (de ebullición) T1. Corresponde a la presión en el circuito. Del punto B al punto C, la entalpía de evaporación se añade a temperatura constante. Todo aporte suplementario de entalpía a partir del punto C aumentará la temperatura del vapor hasta T2. Es lo que pasa entre C y D. La parte del gráfico que se encuentra a la derecha de la curva pasando por los puntos C y D representa el vapor recalentado. T2 es la temperatura del vapor recalentado y T2-T1 es el valor del recalentamiento. Si aumentamos la presión del agua y del vapor, obtenemos una curva del tipo AEFG.



CONDENSACIÓN DEL VAPOR

Desde que el vapor sale de la caldera, entra en contacto con superficies de temperatura inferior y empieza a liberar una parte de su entalpía. Durante este proceso, una parte del vapor se condensa y vuelve al estado líquido a la misma temperatura. Se trata del proceso exactamente inverso al del paso del agua al estado de vapor, que tiene lugar en la caldera cuando le suministramos calor. La entalpía liberada por el vapor cuando se condensa corresponde a la entalpía de evaporación.

La Figura 6 muestra una cuba calentada por un serpentín. Es el tipo de equipamiento que encontramos en todas las instalaciones que utilizan vapor. La cuba está llena con el producto a calentar y el vapor circula en el serpentín. El vapor transmite así su entalpía de evaporación a la pared, que a su vez la transmite al producto a calentar. Cuando el vapor se condensa se forma agua caliente que circula hacia el fondo del serpentín. Este "condensado", debe ser purgado enseguida.

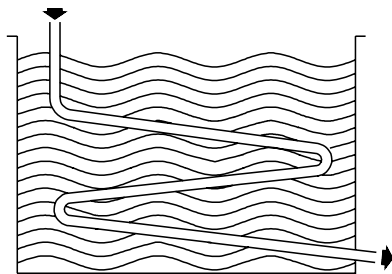


Fig. 6

Si la velocidad de condensación es superior a la velocidad de purga del condensado, el fondo de la bobina se llena de agua como lo muestra la figura 7. Este fenómeno se llama «saturación de agua» (waterlogging).

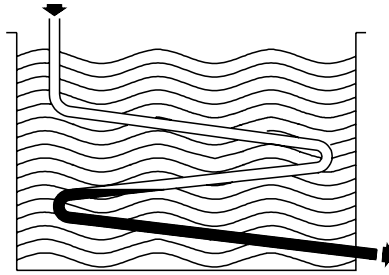


Fig. 7

CIRCUITO DE VAPOR

El vapor generado en una caldera debe ser vehiculado por un sistema de tuberías hacia el lugar donde se necesita la energía calorífica. En primer lugar hay una o dos tuberías principales «tuberías de vapor principales» que parten de la caldera y dirigen el vapor hacia el lugar donde será utilizado. A continuación hay una tubería secundaria que conduce el vapor hacia cada equipo específico.

Cuando abrimos (progresivamente) la válvula de la caldera, el vapor sale inmediatamente por la tubería principal. Al principio, los tubos están fríos. El vapor les transmite entonces el calor. El aire que rodea los tubos está más frío que el vapor: a medida que el circuito se calienta, el calor se reparte por el aire. Esta pérdida de calor en la atmósfera produce más condensación. Sea o no importante la cantidad de entalpía perdida en la tubería principal, se debe a la condensación de una parte del vapor.

El agua formada a partir de esta condensación corre por sí sola hacia la parte baja de la tubería pero es igualmente vehiculada por el flujo de vapor. Cuando una válvula ASCO/JOUOMATIC instalada en un circuito de vapor se abre, el vapor procedente del sistema de distribución penetra en este circuito, entra de nuevo en contacto con superficies en las que la temperatura es inferior a la suya, libera su entalpía de evaporación y se condensa.

Un flujo continuo de vapor sale de la caldera. Para mantener la alimentación, es necesario generar cada vez más vapor.

Para hacer esto, alimentamos el horno de combustible y añadimos agua en la caldera para compensar la que se evapora en el proceso de generación de vapor.

Este circuito ha sido recorrido enteramente (como muestra la Fig. 8), cuando todos los condensados han vuelto al depósito de alimentación de la caldera.

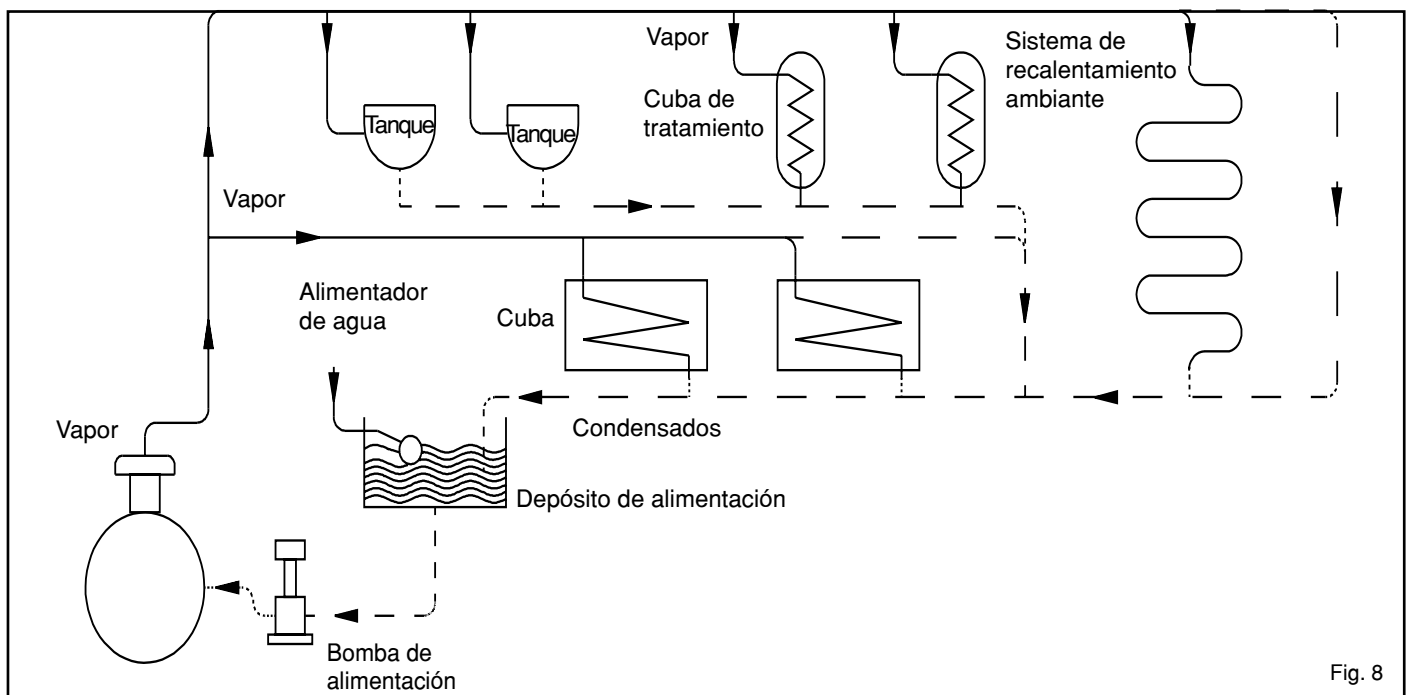


Fig. 8

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL VAPOR SATURADO (Página 6)

Hemos mostrado que existe relación entre la presión del vapor y el punto de saturación. Hemos indicado asimismo que las entalpías del agua saturada, de evaporación y del vapor saturado varían con la presión : cuando la presión cambia, los volúmenes cambian también.

Dado que los valores de entalpía corresponden a un peso de 1 kg, les denominamos «entalpía específica del agua» (saturada, calor sensible), «entalpía específica del vapor» (saturado, calor total) y "entalpía específica de evaporación" (calor latente).

Estos valores están indicados en el cuadro de características físicas del vapor saturado en la página siguiente.

Para calcular la temperatura del vapor saturado a una presión absoluta dada, y utilizamos la ecuación siguiente :

$$T = (Pa^{0,26}) \times 100 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Pa = presión absoluta

CAUDAL DE VAPOR

La naturaleza del vapor exige tomar en consideración ciertas reglas para poder evaluar correctamente la talla de las tuberías del circuito.

Cuando el vapor recorre una tubería, se produce una pérdida de presión debido a los rozamientos sobre las paredes de los tubos. Para reducir al mínimo esta pérdida y la degradación que ocasiona, es necesario mantener la velocidad del vapor conforme a los valores siguientes ::

Tubería de vapor principal	: 20 a 40 m/s
Tubería de vapor secundaria	: 15 a 20 m/s
Tubería de vapor utilización	: 10 a 15 m/s
Tubería condensados	: 15 m/s

Para calcular la velocidad del vapor, se utiliza la ecuación siguiente :

$$V = \frac{Q}{A \cdot 3600} \text{ (m/s)}$$

$$Q = Q_m \times V_g \text{ (m}^3\text{/h)}$$

V = Velocidad del vapor (m/s)

Q = Caudal volumétrico (m³/h)

Qm = Caudal másico del vapor (kg/h)

Vg = Volumen másico del vapor (m³/kg)

A = Sección de la tubería (m²)

Un sistema de tuberías con una sección de 1 cm² (o sea un diámetro de 12,7 mm), correspondiente a una presión de 1 bar relativo, permitirá conducir 10 kg de vapor por hora a una velocidad de aproximadamente 25 m/s.

Para garantizar el buen funcionamiento de las electroválvulas de mando asistido, es importante conocer el caudal másico mínimo de funcionamiento de la válvula.

El caudal másico se expresa en kg/h y se calcula a partir de la ecuación siguiente :

$$Q_m = K_v \times F_{g_m} \text{ (kg/h)}$$

Kv = coeficiente de caudal (m³/h)

Fg_m = coeficiente de ábaco (kg/m³)

Una electroválvula de mando asistido que tenga un coeficiente de caudal de 4,3 (m³/h) y una presión diferencial mínima de funcionamiento de al menos 0,35 bar es utilizada en un sistema de vapor de 6 bar relativos.

Para la aplicación descrita arriba, obtenemos el caudal másico mínimo Qm de la forma siguiente :

En la Figura 9, seleccionar la presión de admisión de 6 bar relativos (en ordenada) ; desplazarse horizontalmente hacia la derecha hasta encontrar la curva de pérdida de carga de 0,35 bar ; a este punto corresponde el valor 35 en la escala Fgm (en abscisa).

$$Q_m = 4,3 \times 35 = 150,5 \text{ kg/h}$$

Este valor corresponde al caudal másico. Si este caudal es crítico o si no se alcanza, se recomienda elegir una válvula que tenga un coeficiente de caudal Kv inferior.

A

RANGO DE PRESIÓN 1 A 10 bar
PRESIÓN A LA ENTRADA DE LA VÁLVULA (MANOMÉTRICA)

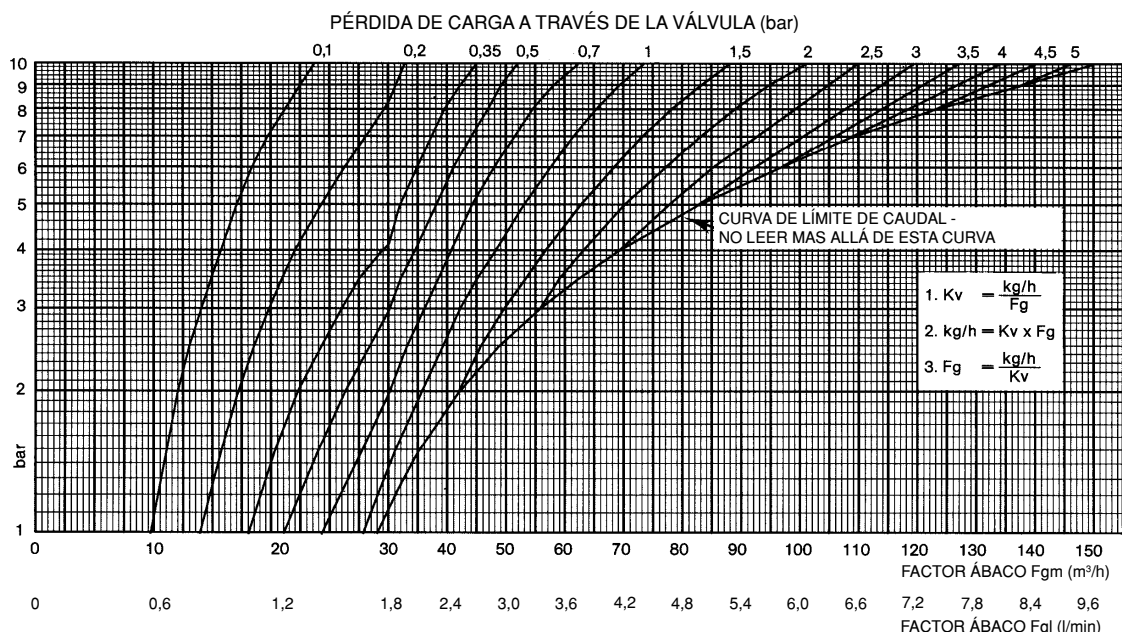


fig. 9

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL VAPOR SATURADO

temperatura de evaporación (fluido)	presión relativa (valor pag. catálogo)	presión absoluta	volumen másico vapor	peso volúmico vapor	entalpía específica del agua (calor sensible, hf)		entalpía específica de vaporización (calor latente, hfg)		entalpía específica del vapor (calor total, hg)		calor específico vapor	viscosidad dinámica vapor
(C)	(bar)	(bar)	(m³/kg)	(kg/m³)	(kj/kg)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(kg/m.s)
17.51	-	0,02	67,006	0,015	73,45	17,54	2460,19	587,61	2533,64	605,15	1,8644	0,00001
45,81	-	0,1	14,674	0,0681	191,83	45,82	2392,8	571,61	2584,7	617,46	-	-
60,06	-	0,2	7,649	0,1307	251,4	60,05	2358,3	563,37	2609,7	623,43	-	-
69,1	-	0,3	5,229	0,1912	289,23	69,09	2336,1	558,07	2625,3	627,16	-	-
75,87	-	0,4	3,993	0,2504	317,58	75,86	2319,2	554,03	2636,8	629,9	-	-
81,33	-	0,5	3,24	0,3086	340,49	81,34	2305,4	550,74	2645,9	632,16	-	-
85,94	-	0,6	2,732	0,336	359,86	85,96	2293,6	547,92	2653,5	633,89	-	-
89,95	-	0,7	2,365	0,4228	376,7	89,99	2283,3	545,46	2660	635,45	-	-
93,5	-	0,8	2,087	0,4791	391,66	93,56	2274,1	543,26	2665,8	636,83	-	-
96,71	-	0,9	1,869	0,535	405,15	96,78	2265,7	541,25	2670,9	638,05	-	-
99,63	-	1	1,694	0,59	417,51	99,72	2257,92	539,3	2675,43	639,02	2,0267	0,000012
100	0	1,013	1,673	0,5977	419,04	100,1	2257	539,17	2676	639,27	-	-
102,32	0,087	1,1	1,549	0,645	428,84	102,43	2250,76	537,59	2679,61	640,01	2,0373	0,000012
104,81	0,187	1,2	1,428	0,7	439,36	104,94	2244,08	535,99	2683,44	640,93	2,0476	0,000012
107,13	0,287	1,3	1,325	0,755	449,19	107,29	2237,79	534,49	2686,98	641,77	2,0576	0,000013
109,32	0,387	1,4	1,236	0,809	458,42	109,49	2231,86	533,07	2690,28	642,56	2,0673	0,000013
111,37	0,487	1,5	1,159	0,863	467,13	111,57	2226,23	531,73	2693,36	643,3	2,0768	0,000013
113,32	0,587	1,6	1,091	0,916	475,38	113,54	2220,87	530,45	2696,25	643,99	2,086	0,000013
115,17	0,687	1,7	1,031	0,97	483,22	115,42	2215,75	529,22	2698,97	644,64	2,095	0,000013
116,93	0,787	1,8	0,977	1,023	490,7	117,2	2210,84	528,05	2701,54	645,25	2,1037	0,000013
118,62	0,887	1,9	0,929	1,076	497,85	118,91	2206,13	526,92	2703,98	645,83	2,1124	0,000013
120,42	1	2,013	0,881	1,1350	505,6	120,78	2201,1	525,82	2706,7	646,6	-	-
120,23	0,987	2	0,885	1,129	504,71	120,55	2201,59	525,84	2706,29	646,39	2,1208	0,000013
123,27	1,187	2,2	0,81	1,235	517,63	123,63	2192,98	523,78	2710,6	647,42	2,1372	0,000013
126,09	1,387	2,4	0,746	1,34	529,64	126,5	2184,91	521,86	2714,55	648,36	2,1531	0,000013
128,73	1,587	2,6	0,693	1,444	540,88	129,19	2177,3	520,04	2718,17	649,22	2,1685	0,000013
131,2	1,787	2,8	0,646	1,548	551,45	131,71	2170,08	518,32	2721,54	650,03	2,1835	0,000013
133,54	1,987	3	0,606	1,651	561,44	134,1	2163,22	516,68	2724,66	650,77	2,1981	0,000013
133,69	2	3,013	0,603	1,6583	562,2	134,3	2163,3	516,79	2725,5	651,09	-	-
138,87	2,487	3,5	0,524	1,908	584,28	139,55	2147,35	512,89	2731,63	652,44	2,2331	0,000014
143,63	2,987	4	0,462	2,163	604,68	144,43	2132,95	509,45	2737,63	653,87	2,2664	0,000014
147,92	3,487	4,5	0,414	2,417	623,17	148,84	2119,71	506,29	2742,88	655,13	2,2983	0,000014
151,85	3,987	5	0,375	2,669	640,12	152,89	2107,42	503,35	2747,54	656,24	2,3289	0,000014
151,96	4	5,13	0,374	2,6737	640,7	153,05	2108,1	503,6	2748,8	656,66	-	-
155,47	4,487	5,5	0,342	2,92	655,81	156,64	2095,9	500,6	2751,7	657,23	2,3585	0,000014
158,84	4,987	6	0,315	3,17	670,43	160,13	2085,03	498	2755,46	658,13	2,3873	0,000014
160	5	6,013	0,31	3,1746	670,09	160,27	2086	498,32	2756,9	658,6	-	-
161,99	5,487	6,5	0,292	3,419	684,14	163,4	2074,73	495,54	2758,87	658,94	2,4152	0,000014
164,96	5,987	7	0,273	3,667	697,07	166,49	2064,92	493,2	2761,98	659,69	2,4424	0,000015
165	6	7,013	0,272	3,6764	697,5	166,62	2066	493,54	2763,5	660,17	-	-
167,76	6,487	7,5	0,255	3,915	709,3	169,41	2055,53	490,96	2764,84	660,37	2,469	0,000015
170,42	6,987	8	0,24	4,162	720,94	172,19	2046,53	488,8	2767,46	661	2,4951	0,000015
172,94	7,487	8,5	0,227	4,409	732,03	174,84	2037,86	486,73	2769,89	661,58	2,5206	0,000015
175,36	7,987	9	0,215	4,655	742,64	177,38	2029,49	484,74	2772,13	662,11	2,5456	0,000015
177,67	8,487	9,5	0,204	4,901	752,82	179,81	2021,4	482,8	2774,22	662,61	2,5702	0,000015
179,88	8,987	10	0,194	5,147	762,6	182,14	2013,56	480,93	2776,16	663,07	2,5944	0,000015
179,97	9	10,013	0,19	5,1546	763	182,27	2015,1	481,39	2778,1	663,66	-	-
184,06	9,987	11	0,177	5,638	781,11	186,57	1998,55	477,35	2779,66	663,91	2,6418	0,000015
184,13	10	11,013	0,177	5,6497	781,6	186,71	2000,1	477,8	2781,7	664,52	-	-
187,96	10,987	12	0,163	6,127	798,42	190,7	1984,31	473,94	2782,73	664,64	2,6878	0,000015
191,6	11,987	13	0,151	6,617	814,68	194,58	1970,73	470,7	2785,42	665,29	2,7327	0,000015
194,04	12,987	14	0,141	7,106	830,05	198,26	1957,73	467,6	2787,79	665,85	2,7767	0,000016
198,28	13,987	15	0,132	7,596	844,64	201,74	1945,24	464,61	2789,88	666,35	2,8197	0,000016
212,37	18,987	20	0,1	10,047	908,56	217,01	1888,65	451,1	2797,21	668,1	3,0248	0,000016
217,24	21	22,013	0,091	11,032	930,92	222,35	1868,11	446,19	2799,03	668,54	3,1034	0,000016
219,55	21,987	23	0,087	11,525	941,57	224,89	1858,2	443,82	2799,77	668,71	3,1421	0,000016
221,78	22,987	24	0,083	12,02	951,9	227,36	1848,49	441,5	2800,39	668,86	3,1805	0,000017
223,94	23,987	25	0,080	12,515	961,93	229,75	1838,98	439,23	2800,91	668,99	3,2187	0,000017
224,02	24	25,013	0,0797	12,547	952,2	229,86	1840,9	439,77	2803,1	669,63	-	-
233,84	28,987	30	0,067	15,009	1008,33	240,84	1793,94	428,48	2802,27	669,31	3,4069	0,000017
242,54	33,987	35	0,057	17,536	1049,74	250,73	1752,2	418,51	2801,95	669,23	3,5932	0,000017
250,33	38,987	40	0,050	20,101	1087,4	259,72	1712,94	409,13	2800,34	668,85	3,7806	0,000018
251,8	40	41,013	0,048	20,619	1094,56	261,43	1705,33	407,31	2799,89	668,74	3,8185	0,000018

Temperatura de vaporización : Temperatura del vapor saturante o el del agua hirviendo a la misma presión.

Presión relativa : Presión situada por encima de la presión atmosférica y leída en manómetros ordinarios.

Presión absoluta : Presión relativa + 1,013 bar (Presión atmosférica normal a nivel del mar a 0°C).

Volumen másico del vapor : Volumen ocupado en m³ par 1 kg de vapor.

Masa volúmica del vapor : Peso específico del vapor en un volumen de 1 m³.

Entalpía específica del agua : Calor sensible, es la cantidad de calor contenida en 1 kg de agua hirviendo.

Entalpía específica del vapor : Es el calor total contenido en 1 kg de vapor.

Es la suma de las entalpías de los diferentes estados, líquido (agua) y gases (vapor).

Calor latente de vaporización : Calor necesario para transformar 1 kg de agua hirviendo en vapor sin cambio de temperatura (energía térmica necesaria durante el cambio de estado líquido a estado de vapor).

Calor específico del vapor : Cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura un grado Celsius en una unidad de mas de 1 kg de vapor).

Viscosidad dinámica : La viscosidad de un fluido se caracteriza por su resistencia al movimiento.