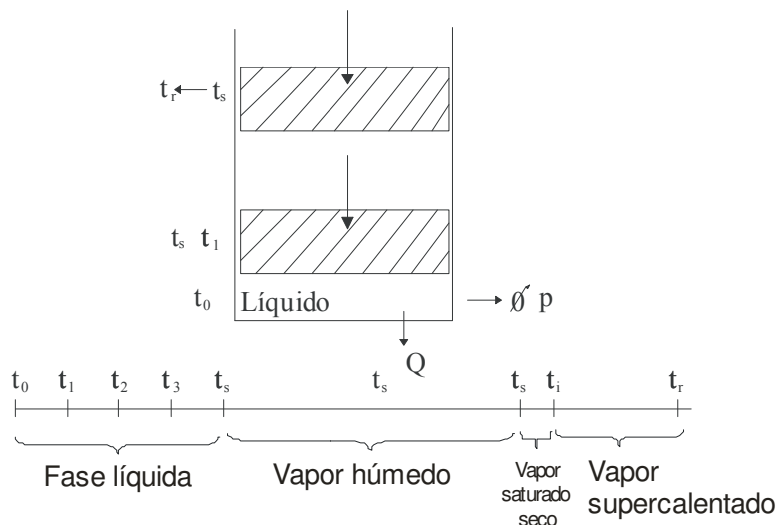




CAPITULO III

VAPORIZACIÓN

1. Diagrama de Andess



Suponiendo la existencia de un líquido para el cual deseamos hacer una descripción de un proceso de vaporización.

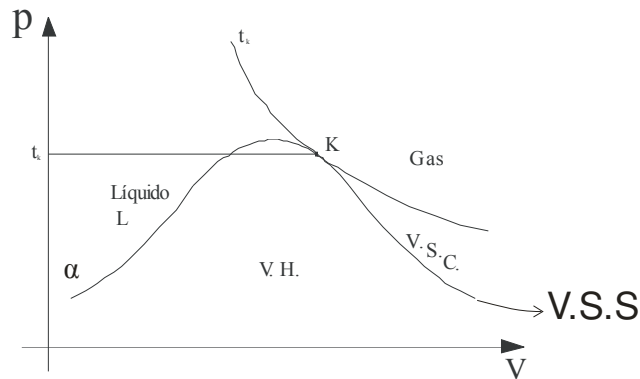
Un líquido siendo gradualmente calentado a $p = \text{Cte}$ la temperatura partiendo de t_0 alcanza un valor bien definido para el fluido y la presión a que está sometida se mantiene constante durante todo el proceso de mudanza de fase, es decir, cuando el líquido se transforma en vapor como esa mudanza no es instantánea, generalmente existe una fase en que el fluido se presenta bajo dos condiciones de estado físico, líquido y vapor, esta fase se denomina “Vapor húmedo”, después de la vaporización de todo el líquido la temperatura crece nuevamente, pasando por la fase instantánea de “Vapor Saturado Seco” a la de “Vapor Súper Calentado”, la temperatura constante, característica para cada fluido y presión a que está sometido es denominada de “Temperatura de Saturación” $t_s = f(p)$.

La confección de un gráfico de las diversas temperaturas de saturación para diferentes presiones es denominada curva de tensión de vapor del fluido considerado.

2. Tipos de Vapor

- Vapor húmedo (VH): aquel que se presenta en dos formas de estado físico, líquido y vapor saturado.
- Vapor Saturado Seco (VSS): aquel que se presenta **isento** de líquido y a temperatura de saturación t_s .
- Vapor Súper Calentado (VSC): aquel que se presenta **isento** de líquido con temperatura t_r mayor que la de saturación.
- Gas: para temperatura mayor que t_k , temperatura crítica, todo el vapor súper calentado (VSC), se transforma en gas.

3. Representación Gráfica



α : Curva límite inferior, correspondiente al punto de inicio de vaporización para las diversas presiones en que se encuentre el líquido.

β : Curva límite superior correspondiente al punto de término de vaporización para las diversas presiones a la que esté siendo vaporizado un fluido.

k: Punto crítico correspondiente al estado en que un líquido se vaporiza instantáneamente.

t_k : Curva de isotérmica correspondiente a la temperatura del punto crítico, es decir, la isotérmica crítica.

Regiones:

L \rightarrow líquido

V.H. \rightarrow Vapor húmedo, región correspondiente al vapor húmedo entre α y β .

G \rightarrow Gas

V.S.S. \rightarrow Vapor saturado seco, sobre la línea β .

$T_{kagua} = 3714.15^\circ\text{C}$

$P_{kagua} = 225.65 \text{ Kg/cm}^2$

4. Título de un vapor húmedo

Título "x"

$$x = \frac{v_x - v'}{v - v'} = \frac{a_x}{a} \quad x: \text{porcentaje del vapor contenido en V.H.}$$

El "Título x" de un vapor es la relación entre el aumento de volumen en un determinado estado de vapor húmedo y el aumento que correspondería al vapor saturado seco a la misma presión.

5. Curvas de Títulos Constantes

Es el lugar geométrico de los puntos que atienden a la misma propiedad o de la misma orden en la división de partes iguales en los segmentos de rectas paralelas al eje de las abscisas y extremos sobre las curvas límites inferior y superior.

Curva $\alpha \rightarrow x = 0$

$\beta \rightarrow x = 1$

6. Colores de Vaporización

a. Representación del proceso en el plano t - q

b. Colores



- Color del líquido: $q \rightarrow$ (Kcal./Kg.): corresponde a la cantidad de calor necesario a ser suministrado a 1Kg. de fluido para variar la temperatura del líquido de 0°C a t_s .
- Calor latente de vaporización $r \rightarrow$ (Kcal./Kg.): es el calor necesario a ser suministrada a la unidad de masa del fluido, para transformar líquido a temperatura t_s totalmente en V.S.S. a temperatura en promover mudanza de estado físico.
- Calor total de vaporización $\lambda \rightarrow$ (Kcal./Kg.): $\lambda = q + r$, es el calor necesario a ser suministrado a 1Kg. de fluido para transformar líquido a 0°C totalmente en V.S.S. a temperatura $= t_s$.
- Calor Súper Calentamiento $\sigma \rightarrow$ (Kcal./Kg.): es la cantidad de calor necesaria a ser suministrada a 1Kg. de V.S.S. a temperatura $= t_s$ para que alcance la condición de V.S.C. a la temperatura t_r .
- Calor total de Súper Calentamiento $\lambda_r \rightarrow$ (Kcal./Kg.): Calor necesario para transformar líquido a 0°C totalmente en V.S.C. a temperatura $= t_r$.

$$\lambda_r = \lambda + \sigma = q + r + \sigma$$

- Grado de Súper calentamiento $\Delta t_s = t_r - t_s$, representa cuando fue elevada la temperatura a más que la temperatura de saturación.

7. Entalpía del líquido y N.S:S.

Entalpía $\rightarrow i = u + Apv$

Entalpía del líquido

$$\begin{aligned} i' &= u' + Apv' \left(\frac{\text{Kcal.}}{\text{Kg.}} \right) \\ i' &= u' + Ap(v_0 + \Delta V_0) \left(\frac{\text{Kcal.}}{\text{Kg.}} \right) \end{aligned} \quad \dots(1)$$

Ley de la Calorimetría

$$q = C_m (t_s - t_0) = C_m t_s$$

1er P.T. $dq = du + Adl$

$$q = (u' - u_0) + Ap$$

Para $t_0 = 0$ arbitrar

$$q = u' + Ap\Delta v_0 \quad \dots(2)$$



de (1) y (2)

$$i' = q + Apv_0$$

Considerando $Apv_0 \approx 0$

$$i' \approx q$$

Entalpía del calor Saturado Seco (i)

$$i = u + Apv = u + Ap(v_0 + \Delta V_0 + a)$$

Calor total de vaporización

$$\lambda = q + r$$

$$i = u + Apv_0 + Ap\Delta v_0 + Apa$$

$$i = i' + r \left(\frac{\text{Kca.l}}{\text{Kg.}} \right)$$

La entalpía del V.S.S. es igual a la entalpía del líquido más el calor latente de vaporización.

8. Vapor Húmedo

Vapor húmedo determinado valor de “p” existe un único valor de temperatura de saturación $p = f(t_s)$.

Por la definición de título obtenemos:

$$x = \frac{a_x}{a} \quad a_x = x \cdot a$$

$$x = \frac{v_x - v'}{v - v'}$$

Así tenemos:

$$v_x = v' + a_x = v' + x \cdot a$$

$$v_x = v' + x(v - v')$$

$$1 \cdot v_x = (1-x) \cdot v' + x \cdot v$$

Demostramos que cuando estamos en la presencia de

1Kg. de vapor húmedo (V.H) de título “x”, este vapor húmedo está compuesto de x Kg. de V.S.S. y, (1-x) Kg. de líquido.

En otras palabras, el título representa el porcentaje de V.S.S. en el V.H.

$$i_x = (1-x) \cdot i' + x \cdot i \quad (\text{Kcal./Kg.})$$

$$i_x = i' - x \cdot i' + x \cdot i$$

$$i_x = i' + x \cdot (i - i')$$

$$i_x = i' + x \cdot r \quad (\text{Kcal./Kg.})$$

9. Vapor Súper Calentado (VSC)



$$\Delta t_s = t_r - t_s$$

grado de Supercalentamiento

$$c(p, v_r, t_r)$$

$$p = f(t_s) \quad c \rightarrow V. S. C.$$

$$t_r > t_s$$

$\sigma \rightarrow$ Calor de Súper calentamiento

$$\sigma = C_p (t_r - t_s) \text{ (Kcal./Kg.)}$$

$$\overline{BC} \rightarrow p = \text{Cte} \rightarrow dq = di$$

$$\sigma = i_r - i$$

$$i_r = i + C_p.(t_r - t_s) \quad \text{(Kcal./Kg.)}$$

Obs.: El comportamiento del V.S.C. presenta cierta semejanza con la de los gases perfectos, llevando a que sea determinado experimentalmente una serie de leyes envolviendo sus parámetros, entre otra podemos destacar:

Para Vapor Súper Calentado de Agua

a. Fórmula de “LINDE”

$$Pv_r = 47.1.T_r - 0.016p$$

$$p = \text{Kgf} / \text{m}^2$$

$$v_r = \text{m}^3/\text{Kg.}$$

$$T_r = ^\circ\text{K}$$

Fórmula válida con bastante aproximación hasta 200 °C.

b. Fórmula de “CALLENDAR”

Para temperatura = $t_r > 200^\circ\text{C}$

$$p(v_r - 0.001) = 47T_r - 0.075.p.(273/T_r)^{10/3}$$

Para Vapor de Amoniaco

Fórmula de “GOODENOUGH”

$$p(v_r + 0.0062) = 49.8T_r - \frac{264 \times 10^8}{T_r^5}.p$$