OPERACIONES UNITARIAS

TEMA 4: ABSORCION GASEOSA

PROBLEMA RESUELTO

Ing. Alfredo A Caballero

2020

ABSORCION DE GASES

Los gases obtenidos en los yacimientos y en las destilerías ,contienen generalmente propano,butano y superiores. La separación de los mismos tiene importancia no sólo para facilitar el transporte del gas por conductos, sino que también, desde un punto de vista comercial.

Los métodos utilizados en la actualidad son los de compresión y absorción o una combinación de los mismos.

En los procesos de absorción la mezcla de gases es contactada con un líquido (solvente) con el propósito de disolver en él uno o más componentes del gas. la operación inversa,es decir la separación del soluto del solvente se denomina "stripping".

Elección del solvente: El solvente, para ser adecuado, debe reunir ciertas condiciones,las principales de las cuales son:

a) Solubilidad alta del gas.Esto reduce cantidad de solvente.

b) Baja volatilidad.Se evitan pérdidas con el gas que sale del absorbedor.

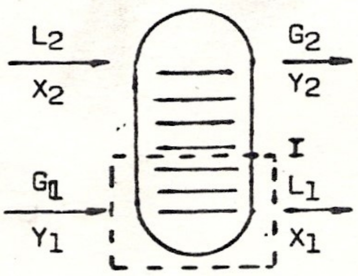
c) No ser corrosivo.

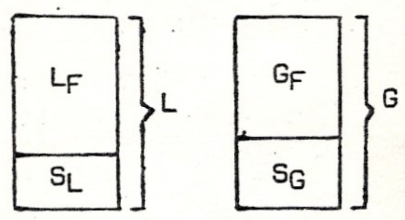
d) Bajo costo.

e) Baja viscosidad. Se reducen gastos de bombeo.

Balance material delabsorbedor. En un absorbedor elsolvente entra por la cabeza y el gas rico por el fondo.

La nomenclatura a utilizar será la siguiente:





Subíndice 1 = indica fondo de la torre.
Subíndice 2 = indica cabeza de la torre.

L = moles de líquido.
G = moles de gas.
S_L = moles de soluto contenido en el solvente.
L_F = moles de solvente fijo.
S_G = moles de soluto contenido en el gas.
G_F = moles de gas fijo.

Evidentemente:

$$L = S_L + L_F \quad y \quad G = S_G + G_F$$

$X = \frac{S_L}{L_F}$ = relación molar soluto a solvente fijo

$Y = \frac{S_G}{G_F}$ = relación molar soluto a gas fijo.

$x = \frac{S_L}{L}$ = fracción molar de soluto a solvente.

$y = \frac{S_G}{G}$ = fracción molar de soluto a gas.

Relaciones entre variables

$$Y = \frac{S_G}{G_F} = \frac{\cancel{G} \cdot y}{\cancel{G} - \cancel{G}y} = \frac{y}{1-y}$$

Del mismo modo

$$X = \frac{x}{1-x}$$

Considerando la envolvente I:

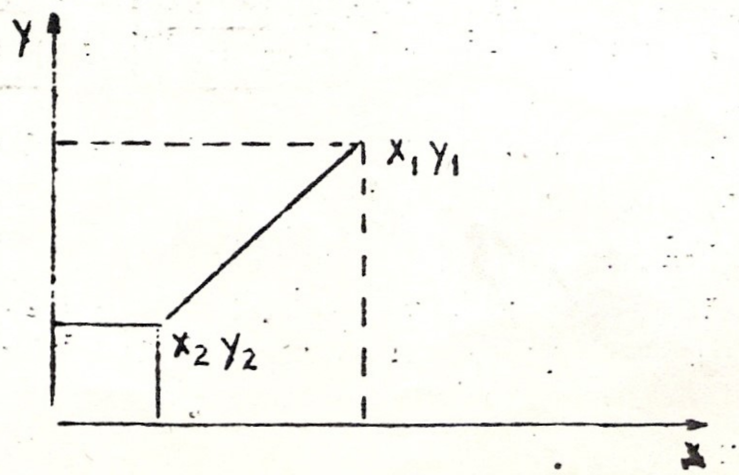
Por balance de material se obtiene:

$$S_{G_1} + S_L = S_{L_1} + S_G$$

$$Y_1 G_F + X L_F = X_1 L_F + Y G_F$$

$$G_F (Y_1 - Y) = L_F (X_1 - X)$$

que es la ecuación de una recta



Mínima relación líquido-gas.

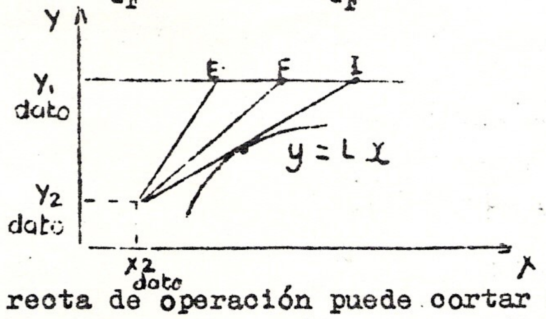
Los datos de cálculo de un absorbedor son G, Y_1 e Y_2 y X_2 ; Es variable la cantidad de líquido absorbente y por tanto X_1 y L_F . La recta de operación: $G_F\ (Y_1 - Y) = L_F\ (X_1 - X)$ puede ser expresada como:

$$G_F\, Y_1 - G_F\, Y = L_F\, X_1 - L_F\, X$$

$$Y\, G_F = Y_1\, G_F - X_1\, L_F + X\, L_F$$

$$Y = Y_1 - X_1 \frac{L_F}{G_F} + X \frac{L_F}{G_F}$$

$$Y = \frac{L_F}{G_F} X + (Y_1 - \frac{L_F}{G_F} X_1)$$



La recta de operación puede cortar a la ordenada Y_1 en puntos tales como E, F o I según la relación $\frac{L_F}{G_F}$. A menor cantidad de líquido corresponde menor pendiente y mayor concentración del soluto en el solvente rico (X_1). Si en el mismo gráfico se representa la curva de equilibrio, la recta de operación tg a la misma corresponde al L_F mínimo. En ese punto la difusión es 0 y la torre tendría infinito número de platos para aumentar la concentración del soluto en el líquido, pues el vapor está en equilibrio con el líquido y no hay paso del vapor al líquido.

Determinación de nº de platos:

Se opera con la curva de equilibrio y la recta de operación. Esta vincula la composición del líquido de un plato (X) con la del vapor que llega a él (Y). La curva de equilibrio en cambio relaciona la composición del líquido del plato con el vapor que sale de él.

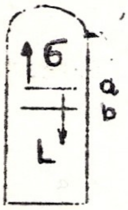
El problema puede ser solucionado gráficamente y analíticamente.

Solución gráfica

Se traza la curva de equilibrio y por el punto ($X_2\, Y_2$) la tg a la misma, con lo cual queda definido el punto ($X_1\, Y_1$) correspondiente a L_F mínimo. De la ecuación de la recta se despeja L_F. Se adopta un múltiplo de L_F mínimo (2 o 3) y se recalcula X_1. Con ello queda definida la recta de operación. El cálculo gráfico se desarrolla de acuerdo a lo oportunamente visto en el método Mc Cabe Thiele.

Solución analítica (Método de Kremser - Brown)

Consideremos el balance de material del plato "a"



$$G\ (y_b - y_a) = L\ (x_a - x_2)$$

Además:

$$y = Kx$$

$$G\ (y_b - y_a) = L\ \left(\frac{y_a}{K} - x_2 \right)$$

Llamando $\frac{L}{GK} = A$: Factor de absorción

$$(y_b - y_a) = A\ y_a - A\ x_2\ K$$

$$y_b + A\ x_2\ K = y_a + y_a\ A$$

(1) $$y_a = \frac{y_b + Ax_2\ K}{1 + A}$$

Para el plato b

(2) $$y_b = \frac{y_o + A\ x_a\ K}{1 + A} = \frac{y_c + A\ y_a}{1 + A}$$

reemplazando (1) en (2) y efectuando una serie de operaciones algebraicas se llega a:

$$y_b = \frac{y_o\ (A^2 - 1) + A^2\ (A - 1)\ K\ x_2}{A^3 - 1}$$

En forma análoga se hace para el resto de los platos y arribaríamos para el "m" a:

(3) $$y_m = \frac{(A^m - 1)\ y_1 + A^m\ (A - 1)\ K\ x_2}{A^{m+1} - 1}$$

Haciendo el balance de la torre:

$$L\ (x_m - x_z) = G\ (y_1 - y_2)$$

$$L\ \left(\frac{y_m}{K} - x_2\right) = G\ (y_1 - y_2)$$

$$\frac{L}{GK}\ (y_m - Kx2) = (y_1 - y_2)$$

$$A\ (y_m - K\ x_2) = (y_1 - y_2)$$

(4) $$y_m = \frac{y_1 - y2}{A} + K\ x_2$$

igualando (3) y (4) y realizando las operaciones correspondientes se llega a la expresión de Kremser-Brown y Sanders.

$$(5) \qquad \frac{(y_1 - y_2)}{(y_1 - K\,x_2)} = \frac{A^{m+1} - A}{A^{m+1} - 1}$$

De esta igualdad es posible despejar "m". Existen gráficos que da la solución de esta fórmula (Ver figura adjunta).

Factor de absorción

Su expresión es $A = \frac{L}{KG}$

Tomando como base 1.000 ft^3 de gas a 14.7 #/pulg.^{2} y 60°F, resulta:

$$G = 1.000\ ft^3/379\ ft^3/mol$$

$$L = \frac{L\ (gal)\ [(8,33\ \#/gal)\ .\ d]}{M}$$

Luego

$$A = \frac{L \times 8,33 \times d}{K\ .\ 1,000 \times M} \times 379 \text{ ó sea } A = \frac{3.156 \times d \times L}{K\ M}$$

Siendo d = peso específico del absorbente. Multiplicándolo por 8,33 se obtiene su expresión en #/gal.

L = galones de absorbente por 1.000 ft^3 de gas.

Si en lugar de K hubiésemos usado $\frac{P}{\pi}$, tendríamos:

$$A = \frac{3.156 \times d \times L \times \pi}{P \times M}$$

Como puede observarse en el gráfico, para igual recuperación se requieren menos platos cuando mayor es A. Analicemos cada factor, en cuanto tiende a reducir el valor de A.

d = Interesaría un solvente pesado, pero simultáneamente aumenta M, y en forma más importante. Por ello interesa operar con solventes livianos. El único problema es el stripping.

L = Mayor cantidad de absorbente, mejor absorción pero aumentan los gastos de operación (bombeo). El problema es económico.

π = La presión favorece la absorción, pero aumenta el costo de los equipos. Es también un problema económico.

P = Interesa que sea bajo, por lo tanto interesa baja temperatura.

Al incorporarse el soluto al solvente le cede su calor latente de vaporización. Cuando el aumento de temperatura producido disminuye en forma importante el valor de A, se extrae solvente de la torre, se lo enfría y se lo incorpora nuevamente.

Absorción de otros componentes

La absorción se define para un determinado componente del gas, llamado componente llavo, cuya recuperación se fija. Los otros componentes son también absorbidos, en una proporción definida por sus factores de absorción, cuya relación es la siguiente:

$$A_1 : A_2 : A_3 : \frac{1}{K_1} : \frac{1}{K_2} : \frac{1}{K_3}$$

Calculando el nº de platos para el hidrocarburo llave, la absorción de los otros se calcula de la siguiente forma: en base a la proporción indicada anteriormente se calcula el valor de A, y en el gráfico se determina, para el mismo nº de platos el valor de $\frac{y_1 - y_2}{y_1 - K x_2}$. De estos valores sólo se desconoce y_2, que se calcula.

Ejercitación

95 %

Se desea recuperar un cierto porcentaje de C_3 de una mezcla gaseosa, utilizando como absorbente kerosene. Además, deberán calcularse las cantidades absorbidas de C_2 y C_4.

Datos

800 m³/h.	Caudal de gas	= N ft³/h en condiciones normales
	Composición en %	= C_1, C_2, C_3 y C_4
	Absorbente	= Kerosene - °API - M
	Condiciones de operación	= Temperatura y Presión

Se conoce además la fracción molar de C_3 en el absorbente.

Método Gráfico

Cálculo de y_1

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} \quad \text{consideramos } y_1 = \frac{n_1}{n_T} = \frac{v_1}{v_T} = \frac{\% C_3}{100}$$

Cálculo de x_2

$$X_2 = \frac{x_2}{1 - x_2}$$

Cálculo de y_2

$$Y_2 = \text{fracción no recuperada} \cdot Y_1$$

Cálculo de G

$$G = \frac{N \text{ ft}^3/h}{359 \text{ ft}^3/\text{mol}}$$

Cálculo de G_F

$$G_F = G\,(1 - y_1)$$

Cálculo de la constante de equilibrio

$K_3 = f$ (T, P) Gráficos Data Book pág. 49 a 60.

Con el valor de K_3 se dan valores a "x" y se calcula el de "y", confeccionándose la siguiente tabla:

x	y	$X = \dfrac{x}{1 - x}$	$Y = \dfrac{y}{1 - y}$
------	------	------	------
------	------	------	------
------	------	------	------
------	------	------	------
------	------	------	------
------	------	------	------

En un diagrama (x, y) se traza la curva de equilibrio.

Cálculo de L_F mínimo.

Se marca en el gráfico el punto $(x_2\ y_2)$ y por él se traza una tangente a la curva de equilibrio y su pendiente será la relación $\dfrac{L_F \text{ mínimo}}{G_F}$

Se calcula L_F mínimo y se adopta para L_F un múltiplo del valor obtenido (2 ó 3).

Cálculo de X_1

Se despeja de la ecuación que surge del balance de material.

$$L_F\ (X_1 - X_2) = G_F\ (Y_1 - Y_2)$$

Cálculo del nº de platos

Se traza en el gráfico el punto $(X_1\ Y_1)$ quedando definida la recta de operación y a partir de él escalones cortando la curva de equilibrio y la recta de operación hasta sobrepasar el punto $(X_2\ Y_2)$. El número de escalones da el nº de platos teóricos.

Método Analítico o de Kremser-Brown

Cálculo del caudal de solvente - Cantidad en peso.

$$L = \frac{LF}{(1 - x)} = B \text{ mol/h}$$

B mol/h x M = C /h y luego expresar en gal/h.

Cálculo de A

Empleamos

$$A = \frac{3.156 \times d \times L\ (\text{gal})}{K \cdot M} \quad \text{ó} \quad A = \frac{L}{G\ K}$$

Cálculo de $\dfrac{y_1 - y_2}{y_1 - K_3\ x_2}$

y_1 y $K_3\ x_2$ son valores conocidos.

$$y_2 = \frac{Y_2}{1 + Y_2}$$

Cálculo del nº de platos teóricos

Entrando en el gráfico de Kremsel - Brown - Sanders con e: valor de $\frac{y1 - y2}{y_1 - K_3\, x_2}$ y A se obtiene el nº de platos teóricos.

Cálculo de las cantidades de C_2 y C_4 absorbidas.

En Data Book pág. 49 a 60 se calculan los valores de K_2 y K_4.

Teniendo en cuenta que:

$$A_1 : A_2 : A_3 : A_4 = \frac{1}{K_1} : \frac{1}{K_2} : \frac{1}{K_3} : \frac{1}{K_4}$$

Se llega a:

$$A_2 = \frac{K_3\, A_3}{K_2}$$

y

$$A_4 = \frac{K_3\, A_3}{K_4}$$

Con estos valores y el número de platos calculados entramos al gr: fico correspondiente y obtenemos $\frac{y1 - y2}{y_1 - K\, x_2}$ para cada caso.

Suponemos en ambos casos que el absorbente no trae C_2 y C_4, siendo por lo tanto $K\, x_2 = 0$.

En consecuencia la expresión que da la recuperación queda resumida a $\frac{y1 - y2}{y_1}$, donde la única incógnita es y_2.

Multiplicando en cada caso los valores de $\frac{y1 - y2}{y_1}$ por G y, se obtiene el número de moles absorbidos.-

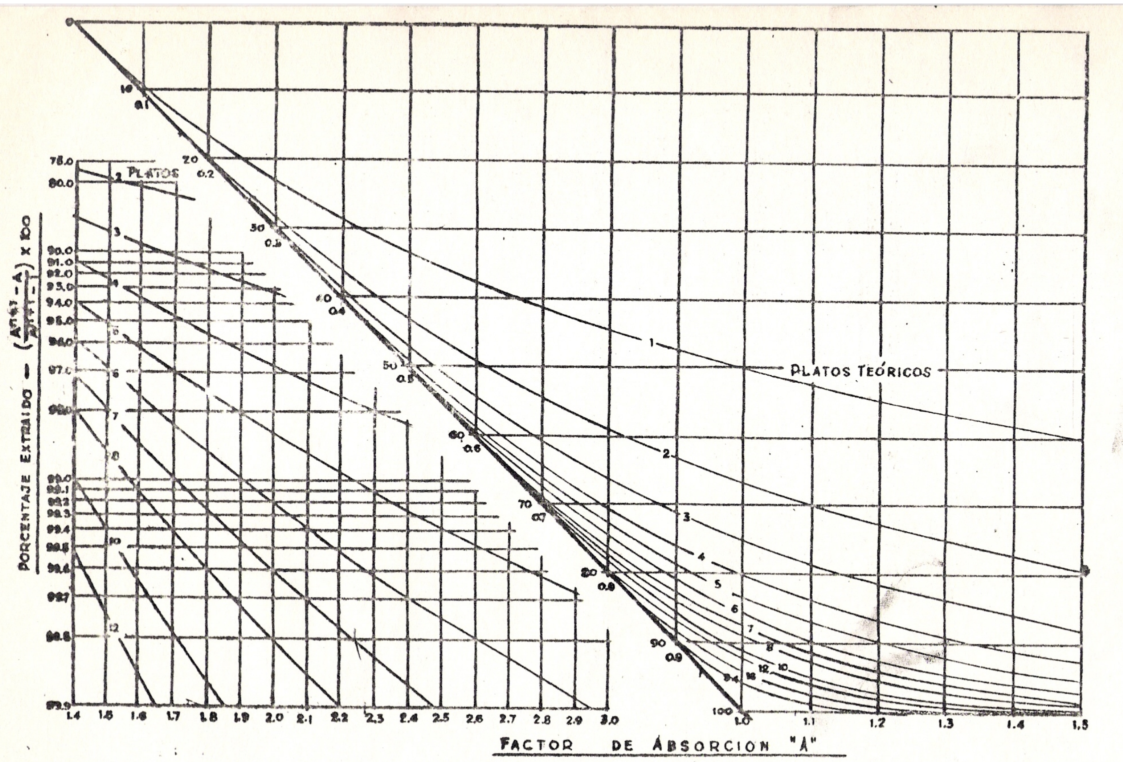


FIG. - FACTOR DE ABSORCION VS. % EXTRACCION

SISTEMAS DE ABSORCION GASEOSA