GUÍA 3 – Fluidodinámica
Problema 4

1° Cuatrimestre - 2025

.UBA fiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

Enunciado

Se quiere absorber el metanol contenido en una mezcla gaseosa de metanol aire (5% de metanol v/v) con agua pura en una torre rellena con anillos Raschig de cerámica tamaño nominal 38mm, colocados al azar.

La torre trabaja en contracorriente y a presión atmosférica.

Se necesita que pasen 700 m^3/h de gas que ingresa por la parte inferior de la torre a 27°C. A la salida de la torre el gas contiene 0,1 % v/v. El agua entra por la parte superior a 27°C.

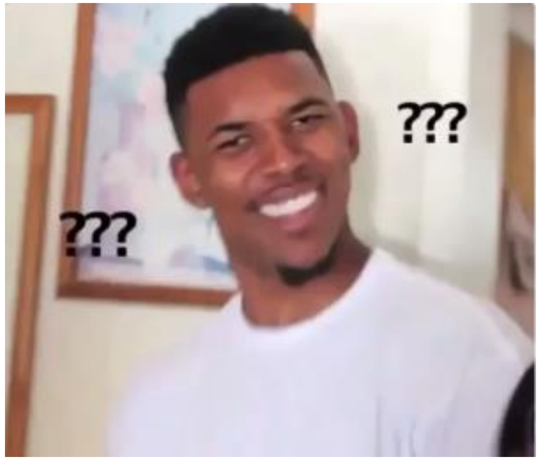
Se sabe que debido al calor de disolución de metanol en agua y una vez trazada la curva de equilibrio, el líquido sale de la torre a 49,1°C. La tensión superficial del líquido es de $\sigma = 70\,\frac{Nm}{m}$

Cálculos de transferencia de masa dan que la altura de relleno es de 7,07m y que L/G=1,23 (kmol/h)/(kmol/h). Para obtener una buena transferencia de masa se decidió trabajar en la región de carga, adoptando para el diseño el 70% de la velocidad másica de inundación para el gas.

Enunciado

Hallar:

a) Diámetro de la comuna.
b) Pérdida de carga en el relleno mojado.
c) Líquido retenido.
d) Pérdida de carga en accesorios (relleno seco (1m) colocado por encima de la entrada del líquido para eliminar el arrastre de agua por el gas).
e) Pérdida de carga total y potencia requerida por un compresor.



Planteo

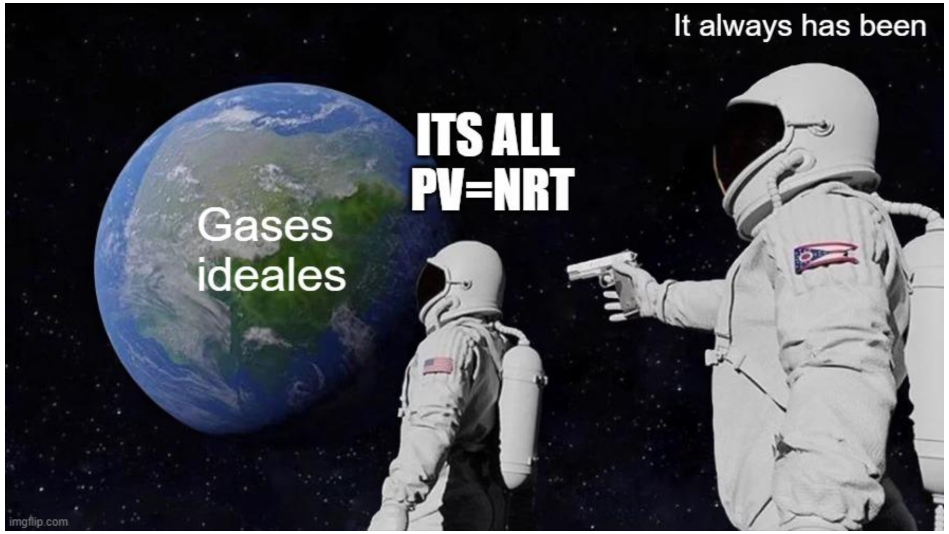
¿Concentraciones %v/v?

Gases ideales

$$V_i = \frac{n_i \cdot R \cdot T}{P}$$

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P}$$

$$\frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n} \cdot \frac{R \cdot T_i \cdot P}{R \cdot T \cdot P_i} \longrightarrow y_i^V = y_i$$



¿Soluciones diluidas?

$$y_B = 0{,}05$$

$$y_T = 0{,}001$$

$$x_T = 0$$

$$\frac{L}{G} = 1{,}23$$

Con esta info sabemos que

$$x_B < 0{,}05 \longrightarrow \text{Soluciones diluidas}$$

Planteo

Gases ideales

$$G_V = 700\,\frac{m^3}{h}$$

$$P \cdot G_V = G \cdot R \cdot T$$

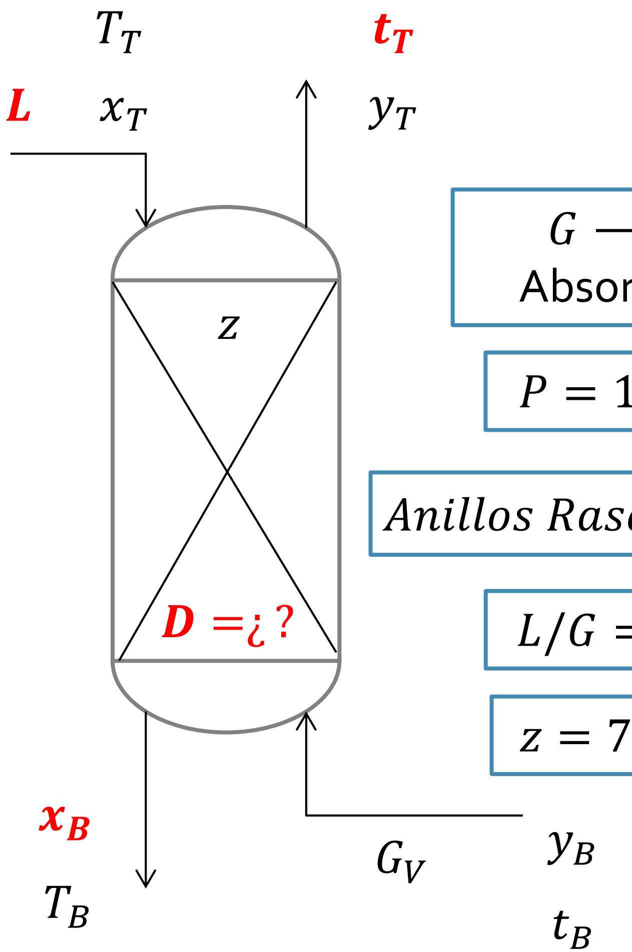
$$G = \frac{P \cdot G_V}{R \cdot T} = 28{,}45\,\frac{kmol}{h}$$

$$G_m = G \cdot Mr_{mix} = G \cdot [y_B \cdot Mr_{metanol} + (1 - y_B) \cdot Mr_{aire}]$$

$$G_m = 828{,}5\,\frac{kg}{h}$$

$$\frac{L}{G} = 1{,}23\,\frac{kmol/h}{kmol/h} \longrightarrow L = 35{,}81\,\frac{kmol}{h}$$

$$L_m = L \cdot Mr_{agua} = 642\,\frac{kg}{h}$$



$G \longrightarrow L$
Absorción

$P = 1\ atm$

$Anillos\ Raschig\ 1\,1/2''$

$L/G = 1{,}23$

$z = 7{,}07\ m$

Planteo

$$BM)\ L \cdot x_T + G \cdot y_B = L \cdot \boldsymbol{x_B} + G \cdot y_T$$

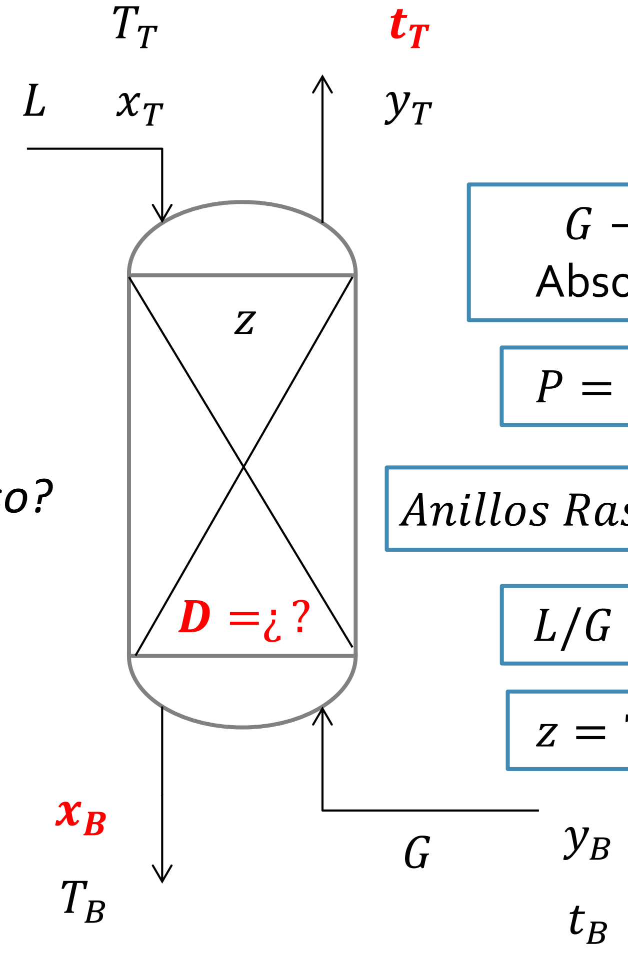
$$\frac{L}{G} = \frac{y_T - y_B}{x_T - \boldsymbol{x_B}}$$

$$\boxed{x_B = 0{,}04}$$

Tenemos que calcular un diámetro tal que la torre opere al 70% de la inundación

¿Qué herramienta existe para eso?

¡Gráfico de Eckert!



$G \longrightarrow L$
Absorción

$P = 1\ atm$

$Anillos\ Raschig\ 1\ 1/2''$

$L/G = 1{,}23$

$z = 7{,}07\ m$

Gráfico de Eckert

Caudales másicos y por unidad de área.

L^M, G^M

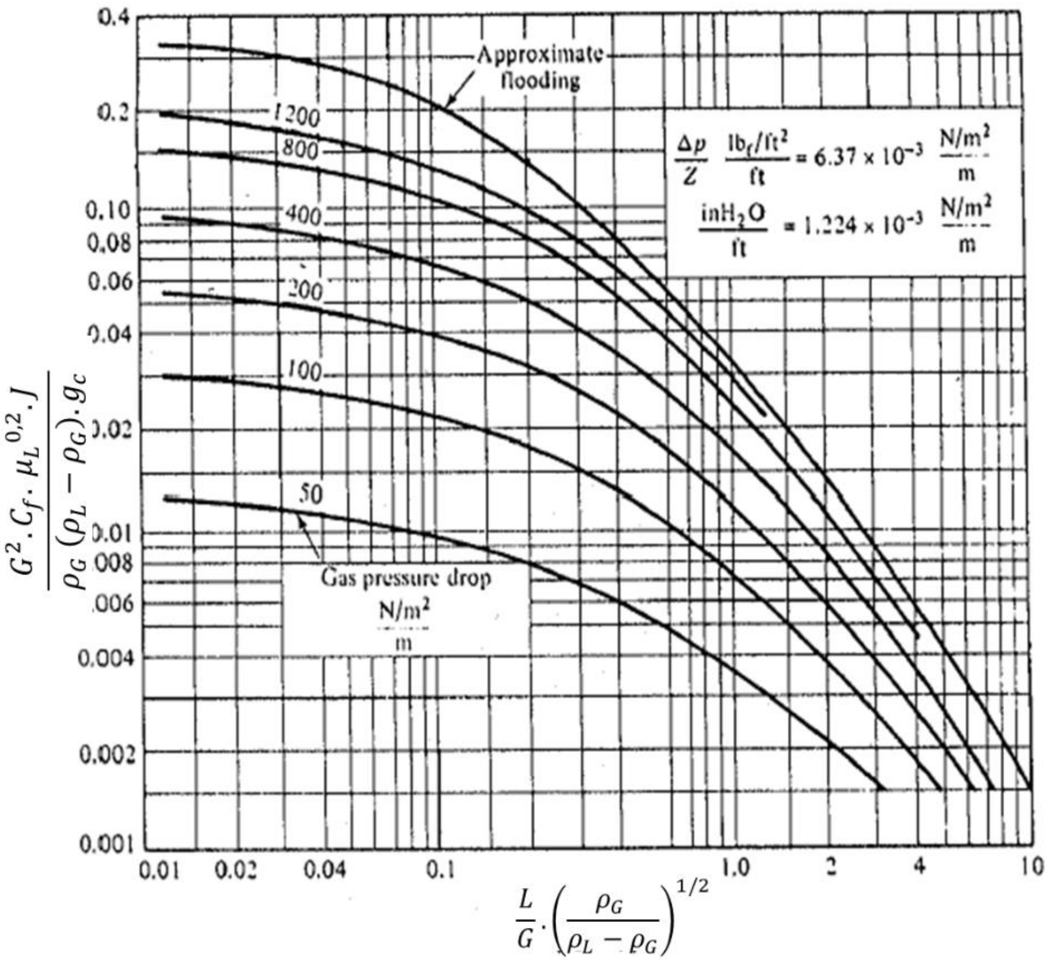


Figura 6.34 Inundación y caída de presión en torres con empaques al azar (coordenadas de Eckert [37], *Chemical Process Products Division, Norton* Co.) Para unidades SI (kg, m . s), $g_c = 1$, C_f de la tabla6.3, y **utilizar** $J = 1$. Para G' = $lb_m/ft^2 \cdot h$, $\varrho = lb_m/ft^3$, μ_L = centip., $g_c = 4.18(10^8)$, C_f de la tabla 6.3, y utilizar $J = 1.502$.

Gráfico de Eckert

.UBAfiuba FACULTAD DE INGENIERÍA

$$\rho_G = \frac{G^M}{G^V} = 1{,}18\,\frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_L = 1000\,\frac{kg}{m^3}$$

Anillos cerámicos Raschig 1,5”

Empaque	Tamaño nominal, mm (in)									
	6 ($\frac{1}{4}$)	9.5 ($\frac{3}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	16 ($\frac{5}{8}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	25 (1)	32 ($1\frac{1}{4}$)	38 ($1\frac{1}{2}$)	50 (2)	76 (3)
	Anillos de Raschig									
Ceramica:										
Espesor de pared, mm	0.8	1.6	2.4	2.4	2.4	3	4.8	4.8	6	9.5
C_f	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	37
C_D			909	749	457	301		181.8	135.6	
ε	0.73	0.68	0.63	0.68	0.73	0.73	0.74	0.71	0.74	0.78
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	787 (240)	508 (155)	364 (111)	328 (100)	262 (80)	190 (58)	148 (45)	125 (38)	92 (28)	62 (19)
Metal										
0.8 mm pared										
C_f	700	390	300	170	155	115				
ε	0.69		0.84		0.88	0.92				
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	774 (236)		420 (128)		274 (83.5)	206 (62.7)				
1.6 mm pared										
C_f			410	290	220	137	110	83	57	32
C_D			688	431	485	304		172.9	133.5	
ε			0.73		0.78	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)			387 (118)		236 (71.8)	186 (56.7)	162 (49.3)	135 (41.2)	103 (31.4)	68 (20.6)

$$C_f = 95 \qquad a = 125\,\frac{m^2}{m^3}$$

Resolución ítem a) Diámetro

$$\frac{L^M}{G^M}\cdot\left(\frac{\rho_G}{\rho_L-\rho_G}\right)^{0,5} = 0,026$$

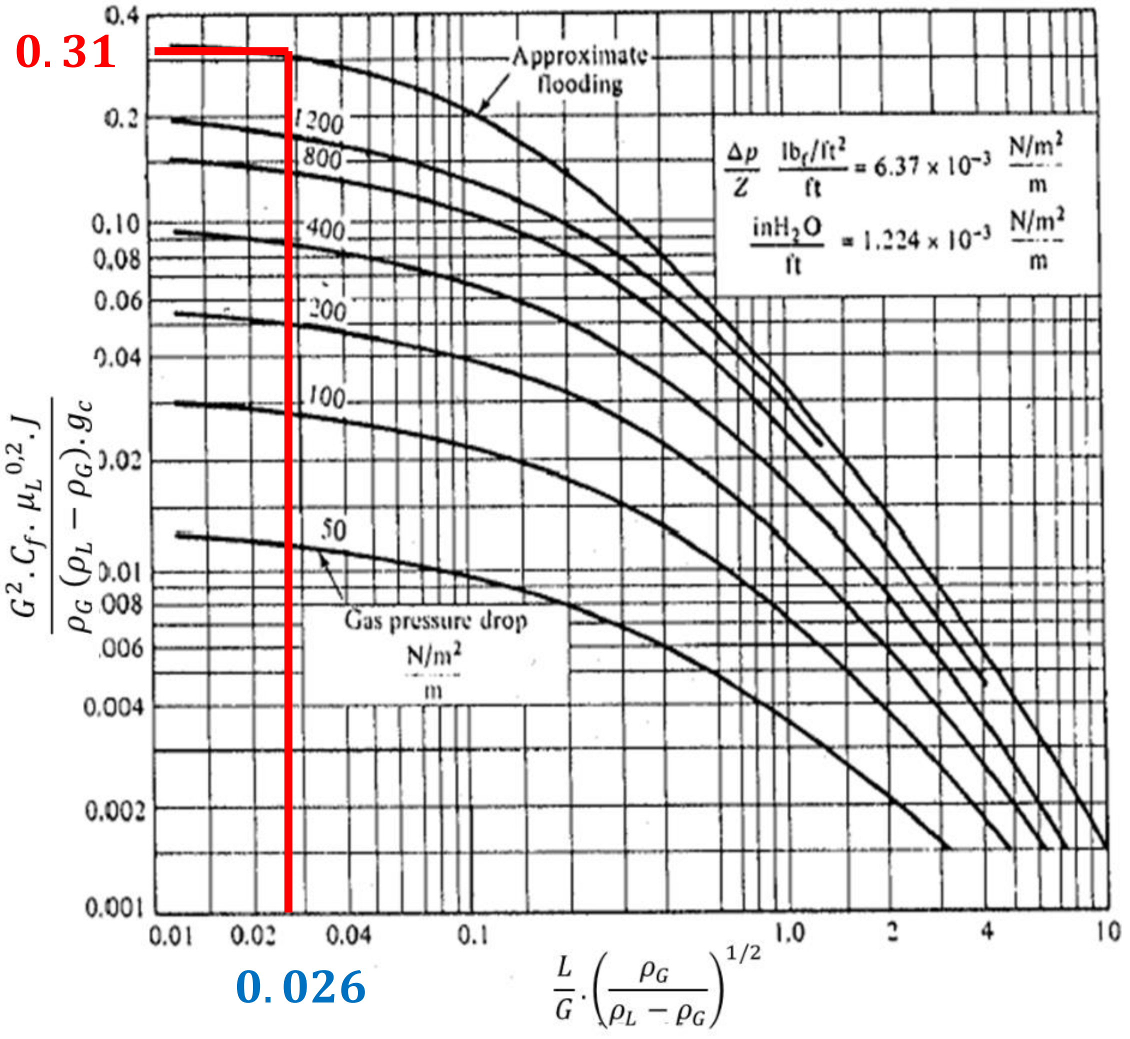
$$\frac{{G_F^M}^2\ C_f\cdot \mu_L^{0,2}\cdot J}{(\rho^L-\rho^G)\cdot\rho^G\cdot g_c} = 0,31 \quad \left\{\begin{array}{l}\dfrac{J}{g_C}=1\\[2ex] \mu_L = 1\ cP\end{array}\right.$$

$$\boldsymbol{G_F^M = 13865\,\frac{kg}{m^2\cdot h}}$$

$$G_{op}^M = 0,7\cdot G_F^M = 9706\,\frac{kg}{m^2\cdot h} = \frac{G^M}{S}$$

$$S = 0,0854\ m^2$$

$$S = \pi\cdot\frac{D^2}{4} \qquad \boxed{D = 0,329\ m}$$

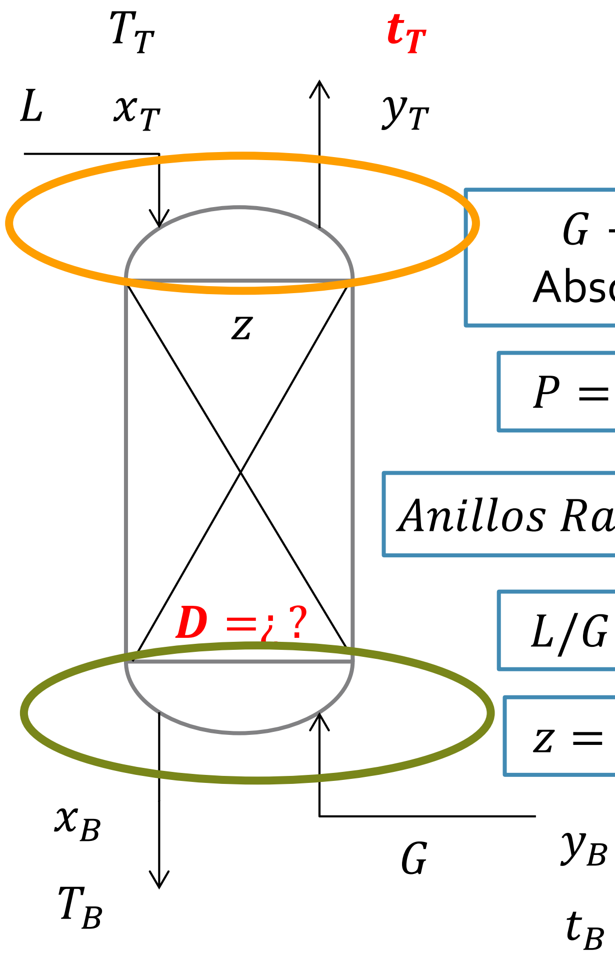


Disclaimer

¿Qué datos usamos para calcular el diámetro de la torre?

¿Y si hubiésemos usado los datos de arriba? ¿Qué cambia?

TAREA



$G \longrightarrow L$
Absorción

$P = 1\ atm$

$Anillos\ Raschig\ 1\ 1/2''$

$L/G = 1{,}23$

$z = 7{,}07\ m$

Resolución ítem b) ΔP relleno mojado

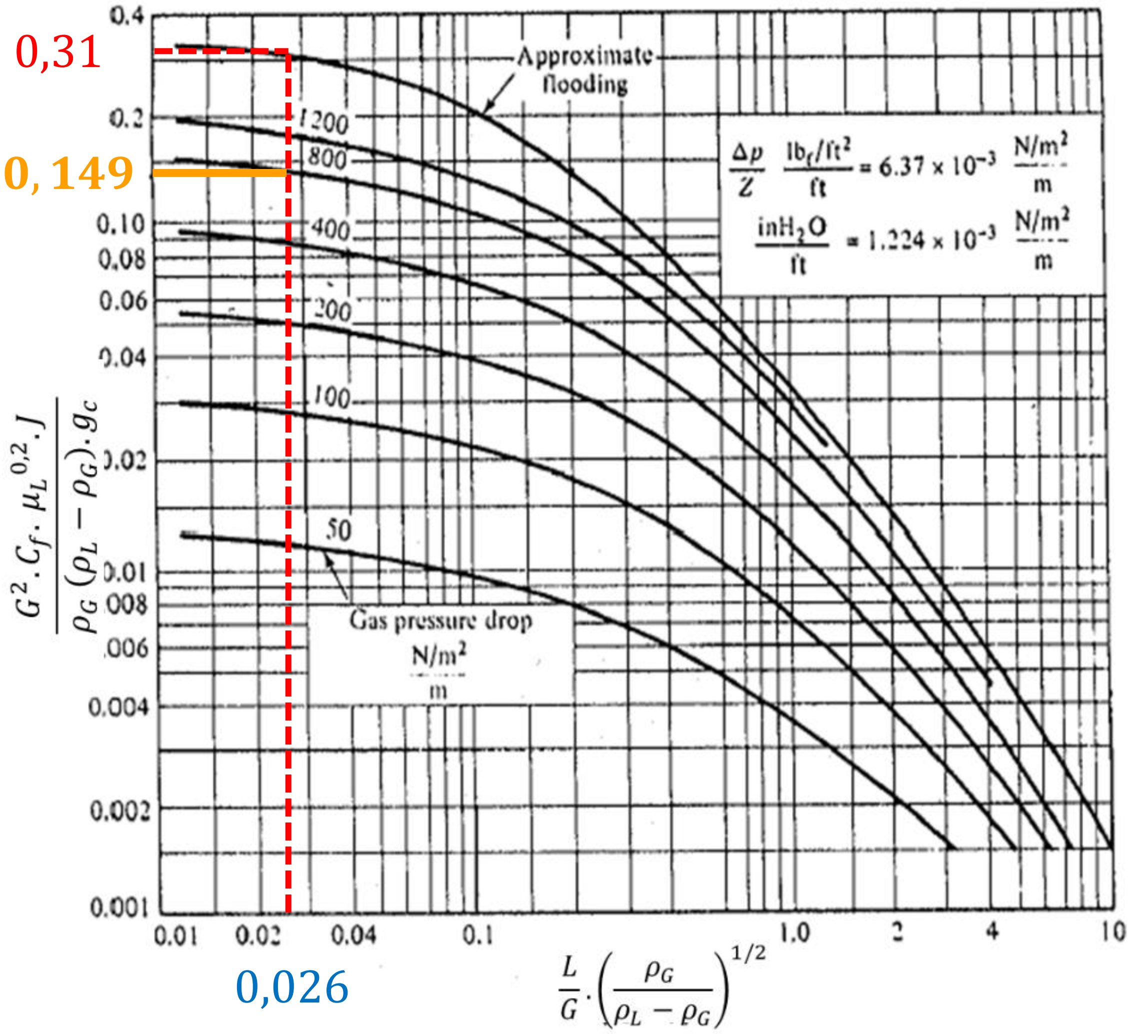
¡Eckert lo tiene todo!

$$\frac{L^M}{G^M}\cdot\left(\frac{\rho_G}{\rho_L-\rho_G}\right)^{0,5} = 0{,}026$$

$$\frac{{G_{op}^{M}}^{2}\cdot C_f\cdot \mu_L^{0,2}\cdot J}{(\rho^L-\rho^G)\cdot\rho^G\cdot g_c} = 0{,}149$$

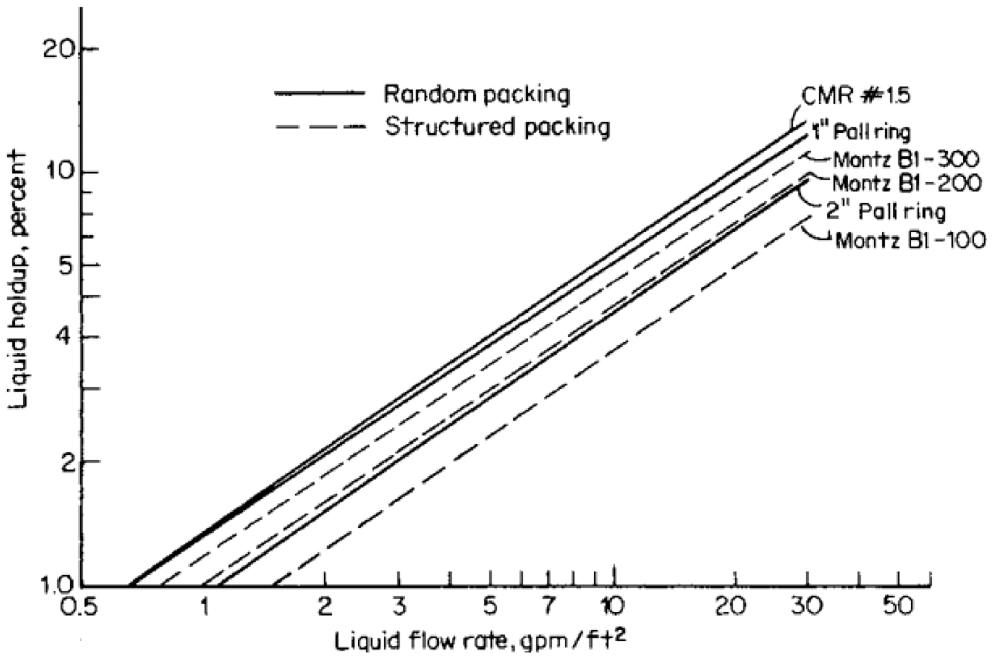
$$\frac{\Delta P}{z} = 800\,\frac{Pa}{m} \longrightarrow \Delta P_{rm} = 800\,\frac{Pa}{m}\cdot 7{,}07\,m$$

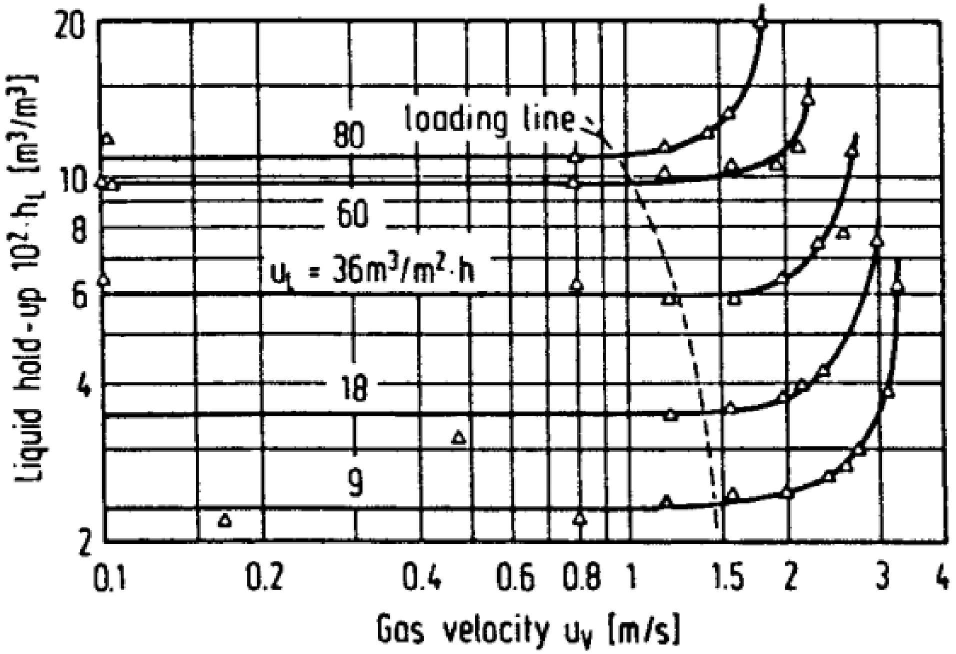
$$\Delta P_{rm} = 5660\,Pa$$



Resolución ítem c) líquido retenido

- Es el líquido presente en los espacios vacíos del relleno. Es necesario una cierta cantidad para favorecer la transferencia de materia, aunque se busca que sea lo menor posible.
- Mucho líquido trae aparejado alta pérdida de carga, mayor peso del relleno (y de la torre en general) y afecta al tiempo de drenado.





- Antes de la zona de carga, la retención es prácticamente independiente de la velocidad del gas, pero fuertemente dependiente del caudal de líquido y del tamaño de relleno.
- Rellenos pequeños y altos caudales de líquido traen altas retenciones.

Resolución ítem c) líquido retenido

¿Cómo se calcula?

$$h_{L\_UP} = 0{,}93 \cdot \left(\frac{U_L^2 \cdot a}{g}\right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{\mu_L^2 \cdot a^3}{\rho_L^2 \cdot g}\right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{\sigma \cdot a^2}{1000 \cdot \rho_L \cdot g}\right)^{\frac{1}{8}}$$

Fuente: Perry

$$U_L = Velocidad\ del\ líquido\ \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{L^M}{\rho \cdot S} = 0{,}00208\,\frac{m}{s}$$

$$a = Área\ específica\ de\ empaque\left(\frac{m^2}{m^3}\right) = 125\,\frac{m^2}{m^3}$$

$$g = Aceleración\ de\ la\ gravedad\ \left(\frac{m^2}{s}\right) = 9{,}81\,\frac{m^2}{s}$$

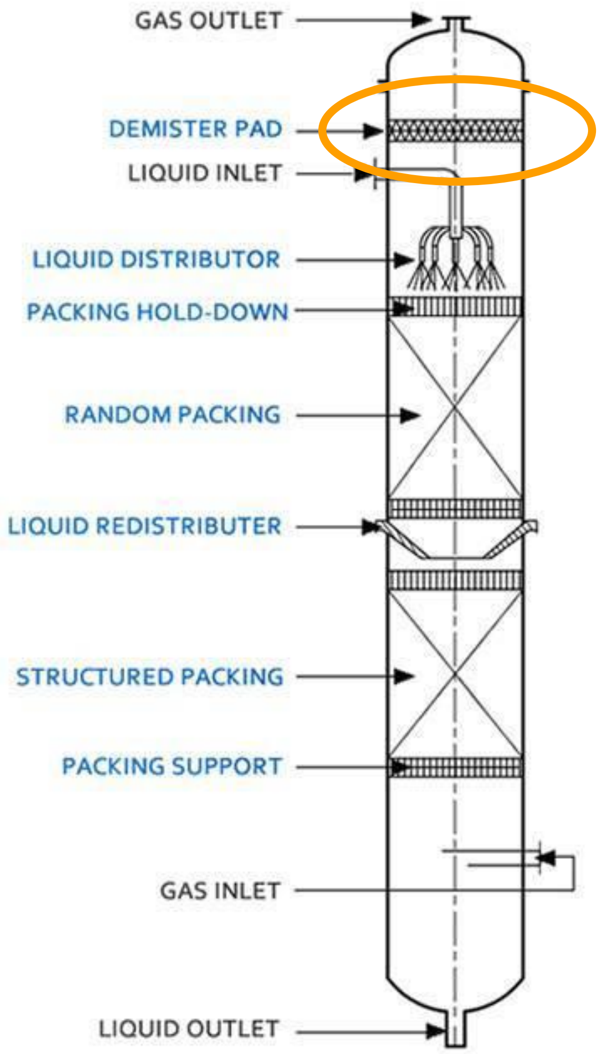
$$\mu_L = Viscosidad\ (cP) = 1\ cP$$

$$\sigma = Tensión\ superficial\left(\frac{mN}{m}\right) = 70\,\frac{mN}{m}$$

$$\boldsymbol{h_{L\_UP} = 3\%}$$

Resolución ítem d)

Pérdida de carga en relleno seco (1 m) colocado por encima de la entrada del líquido para eliminar el arrastre de agua en la corriente de gas



Resolución ítem d)

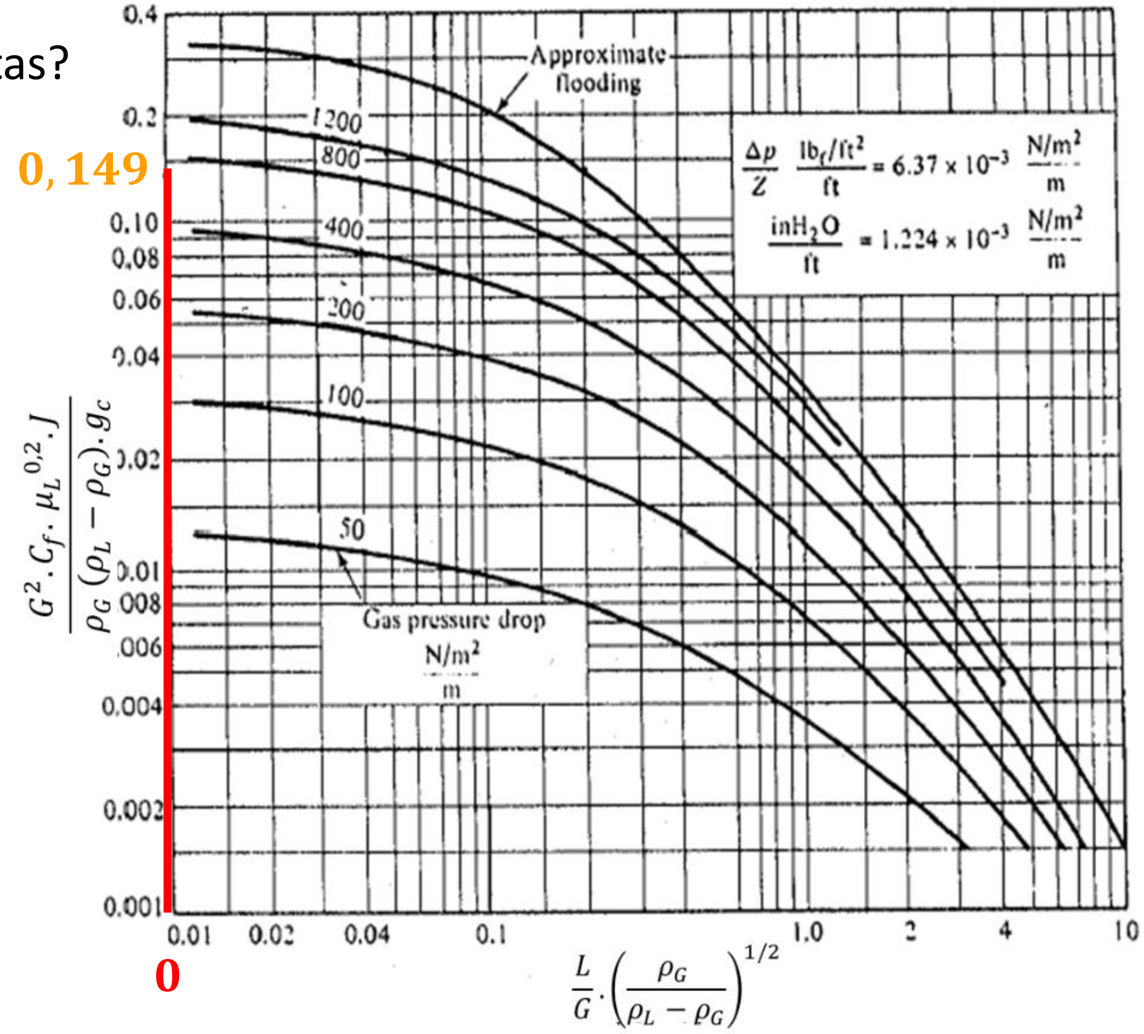
¿Por qué es importante que no se arrastren pequeñas gotas?

¿Cómo se estima la pérdida de carga en ese demister?

$$\frac{L^M}{G^M}\cdot\left(\frac{\rho_G}{\rho_L-\rho_G}\right)^{0,5} = 0$$

$$\frac{{G_{op}^{M}}^{2}\cdot C_f\cdot \mu_L^{0,2}\cdot J}{(\rho^L-\rho^G)\cdot\rho^G\cdot g_c} = 0{,}149$$

$$\frac{\Delta P}{z}\approx 600\,\frac{Pa}{m} \longrightarrow \Delta P_{dem} = 600\,\frac{Pa}{m}\cdot 1\,m$$



Resolución ítem e)

Pérdida de carga total

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{relleno\ mojado} + \Delta P_{demister}$$

$$\Delta P_{total} = 5660\ Pa + 600\ Pa = 6260\ Pa$$

Potencia requerida por el compresor

$$Potencia_{compresor} = \frac{G^V \cdot \Delta P_{total}}{\eta} \xrightarrow[\eta = 0{,}6]{} Pot_{comp} = 2034\ W$$

¿PREGUNTAS?