

**CRITERIOS PARA LA OPTIMIZACION DE
PASTILLAS DE CATALIZADOR**

**Lic. E. M. Dalmazo
Ing. Quím. C. E. Bértola
Dr. R. E. Cunningham**

Serie II, nº 157

INTRODUCCION

En trabajos anteriores (1, 4) se ha estudiado la optimización de pastillas de catalizador para dos industrias nacionales según que el costo de catalizador o el de bombeo fueran las etapas determinantes de la economía del proceso.

En tales trabajos la optimización se fundamentó en el análisis de pastillas en forma de anillos Raschig. Esto es, se estudió la influencia de los parámetros geométricos de un cilindro en el que se ha practicado un orificio axial.

De todas maneras el estudio fue hecho en dos casos de distinta economía y practicando un solo orificio.

El objetivo de este trabajo es analizar la influencia combinada de los costos de catalizador y bombeo y de más de un orificio practicado axialmente en la pastilla cilíndrica.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Ecuaciones fundamentales

A los efectos de nuestro objetivo, el costo del proceso está dado por

$$C_T = C_c W_c + C_b \Delta P \quad (1)$$

En donde la masa de catalizador es

$$W_c = \rho_c V_R (1 - \epsilon) \quad (2)$$

en donde para pastillas cilíndricas con orificios cilíndricos axiales, es:

$$\epsilon = 0,42(1+n\beta^2) \quad (3)$$

Por otra parte, la pérdida de carga puede calcularse a partir de la ecuación de Ergun (3):

$$\Delta p = A \frac{(1-\epsilon)^2}{L^2 \epsilon^3} + B \frac{1-\epsilon}{L \epsilon^3} \quad (4)$$

en donde

$$A = 150 G_0 Z \mu / \bar{\rho}_G \quad B = 1,75 \frac{G_0^2 Z}{\bar{\rho}_G} \quad (5)$$

y la longitud característica de pastilla para cilindro perforado por n orificios axiales está dada por:

$$L = \frac{D \alpha (1-n\beta^2)}{(\alpha(1+n\beta) + 2(1-n\beta^2))} \quad (6)$$

A su vez, la masa de catalizador puede expresarse en función de las variables de reacción

$$W_c = \frac{a}{\eta} \quad (7)$$

en donde

$$a = \frac{dn_A/dt}{R_A} \quad (8)$$

Se ve que en el reactor habrá un campo de a.

Cálculo

La ecuación 4 muestra dos términos en el miembro de la derecha que representan dos contribuciones: el régimen laminar y el turbulento, respectivamente.

Podemos pues adoptar dos casos extremos según que un término sea despreciable frente al otro.

A su vez, la ecuación 7 muestra también dos situaciones extremas que corresponden a los casos en que es $\eta = 1$ por un lado y al de la zona asintótica de η , por el otro.

Se generan así distintos casos particulares que podemos estudiar por separado.

1.- Caso en que es $\eta = 1$

Introduciendo las ecuaciones 3 y 6 en la 4, la ecuación 3 en la 2 y por último, introduciendo las ecuaciones 4 y 2 en la 1 se obtiene:

$$C_T = C_c \rho_0 V_R \left[1 - 0,42(1+n\beta^2) \right] + C_D A f_1(\alpha, \beta, n, D) + C_D B f_2(\alpha, \beta, n, D)$$

donde:

$$f_1 = \frac{\left[1 - 0,42(1+n\beta^2) \right]^2 \left[\alpha(1+n\beta) + 2(1-n\beta^2) \right]^2}{\left[0\alpha(1-n\beta^2) \right]^2 \left[0,42(1+n\beta^2) \right]^3} \quad (9)$$

$$f_2 = \frac{\left[1 - 0,42(1+n\beta^2) \right] \left[\alpha(1+n\beta) + 2(1-n\beta^2) \right]}{0\alpha(1-n\beta^2) \left[0,42(1+n\beta^2) \right]^3}$$

La optimización del proceso en este caso es trivial ya que, según la ecuación 9, C_T se minimiza al aumentar β , n , D y α .

Es importante destacar que acá la sensibilidad paramétrica sobre C_T es:

$$\beta > n > D > \alpha \quad (10)$$

2.- Caso en que es η asintótico

En este caso el factor de efectividad está dado por (2)

$$\eta = \frac{f\left(\frac{Da_g}{Da_k}, Ar\right)}{h} = \frac{G}{L} \quad (11)$$

por lo tanto, la ecuación 7 se reduce a

$$W_c = F L \quad (12)$$

en donde $F = a/G$.

2.1.- Régimen laminar

Introduciendo las ecuaciones 3 y 6 en la 4, las ecuaciones 4 y 12 en la 1 (recordando que ahora en la ecuación 4 el segundo término del miembro de la derecha es despreciable) se obtiene:

$$C_T = C_0 G \frac{D \alpha (1-n\beta^2)}{\alpha(1+n\beta) + 2(1-n\beta)} + C_D A_1 f(\alpha, \beta, n, D) \quad (13)$$

El diámetro se puede obtener de la ecuación 13 haciendo $dC_T/dD = 0$; en tal caso se obtiene

$$D_{\text{ópt}} = (2p/q)^{1/3} \quad (14)$$

en donde

$$p = C_b A D^2 f_1(\alpha, \beta, n, D) \quad (15)$$

$$q = C_c G L$$

De todas maneras, si se representa la ecuación 13, se observa que, para cualquier valor de α y D , C_T pasa por un mínimo para $n = 1$ y $\beta = 0,75$ (en la figura 1 se hace tal representación para $D = 0,4$ pulgadas).

En consecuencia, para un anillo de Raschig con $\beta = 0,70$, la ecuación 13 se puede representar bajo la forma de $(C_T/C_c.G)$ en función de α y D para distintos valores de $C_b/C_c.G$. En la figura 2 se observa esta representación para $D = 0,4''$ y $\beta = 0,70$.

De la figura 2 puede observarse que el α óptimo varía con la relación de costo de bombeo a costo de catalizador. Así por ejemplo se observa que el α óptimo disminuye al aumentar el costo de catalizador.

2.2.- Régimen turbulento

Introduciendo las ecuaciones 3 y 6 en la 4 y las ecuaciones 4 y 12 en la 1 (recordando que ahora en la ecuación 4 es el primer término del miembro de la derecha despreciable) se obtiene

$$C_T = C_c G \frac{D \alpha (1 - n \beta^2)}{\alpha (1 + n \beta) + 2 (1 - n \beta^2)} + C_b B f_2(\alpha, \beta, n, D) \quad (16)$$

En este caso el diámetro óptimo está dado por

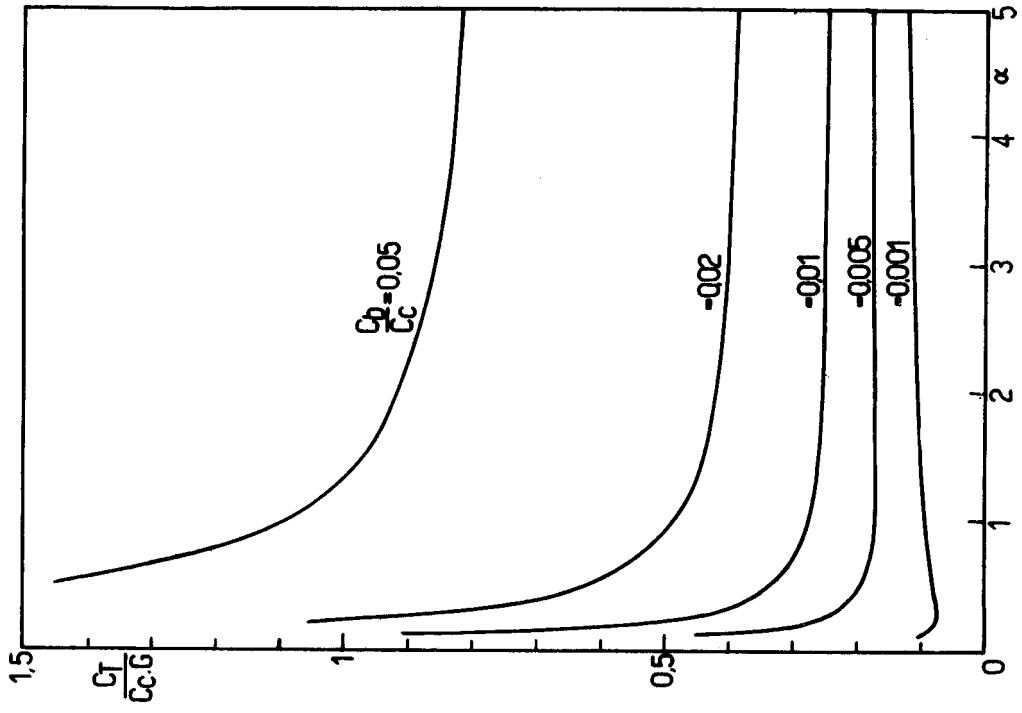


Fig. 4

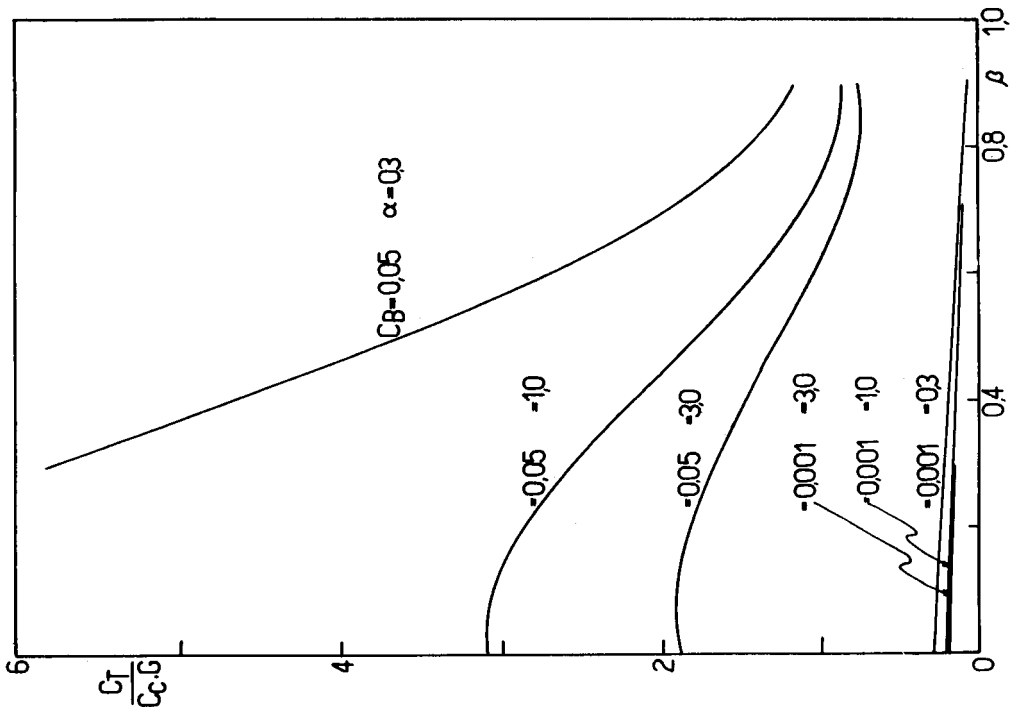


Fig. 3

$$D_{\text{ópt}} = (s/q)^{1/2} \quad (17)$$

en donde

$$s = C_b B O f_2(\alpha, \beta, n, D) \quad (18)$$

Para la gran mayoría de los valores de C_b/C_c tomados para el cálculo, C_T relativo disminuye siempre al aumentar β y disminuir n , según se ve en la figura 3 para $D = 0,4$ pulgadas y $n = 1$. Vamos entonces a adoptar un valor de $\beta = 0,70$ para $n = 1$ y representar la ecuación 16 en términos de C_T relativo = $C_T/C_c \cdot G$ en función de β . En la figura 4 se ve tal representación para $D = 0,4$ pulgadas. De la figura 4 se observa que el α óptimo varía nuevamente con la relación de costo de bombeo a costo de catalizador y que el α óptimo disminuye al aumentar el costo de catalizador

CONCLUSIONES

Si se pretende optimizar pastillas cilíndricas de catalizador practicando orificios axiales se observa que:

1.- Si η es uno, el costo de proceso se minimiza al aumentar el diámetro de orificio, número de agujeros, diámetro de pastilla y relación longitud a diámetro de pastilla, en ese orden de prioridad.

2.- Si se está en la zona asintótica de η el costo se minimiza para un solo orificio; si el régimen fluido dinámico es laminar el orificio óptimo es del 75 % del diámetro de pastilla y si es turbulento el costo generalmente disminuye al aumentar el orificio, salvo para unos pocos valores de C_b/C_c en que pasa por un mínimo.

A su vez la relación longitud a-diámetro de pastilla óptima disminuye al aumentar el costo de catalizador.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bértola C. E. y Cunningham R. E.- Optimización de pastillas de catalizador para la síntesis de SO₃. Lemit, Serie II, n° 151, 1969.
- 2.- Bischoff K. B.- A. I. Ch. E. Journal 11 351 (1965).
- 3.- Ergun S.- Chem. Eng. Prog. 48 93 (1952).
- 4.- Trabucchi M. y Cunningham R. E.- Ind. y Quim. 27 52 (1969).

NOMENCLATURA

Ar	número de Arrhenius
C _b	costo de bombeo, \$/tiempo
C _c	costo de catalizador, \$/tiempo de amortización
C _T	costo total
D	diámetro de pastilla
d	diámetro de orificio
D _{aII}	número segundo de Damköhler
D _{aIV}	número cuarto de Damköhler
	$f\left(\frac{D_{aII}}{D_{aIV}}; Ar\right)$
$G =$	$\frac{\quad}{h/L}$
G _o	flujo másico, masa/tiempo.área
h	módulo de Thiele

L	longitud característica
n	número de orificios
n_A	número de moles de A
p	pérdida de carga
r_A	velocidad de reacción del reactivo A por unidad de masa en la superficie de la pastilla
t	tiempo
V_R	volumen del reactor
W_C	masa de catalizador
Z	longitud de lecho

Símbolos griegos

α	L/D
β	d/D
ϵ	fracción de vacío del lecho
η	factor de efectividad
μ	viscosidad media del gas circulante
ρ_G	densidad media del gas circulante
ρ_C	densidad del catalizador