

CDU : 532. 58: 66.021.3

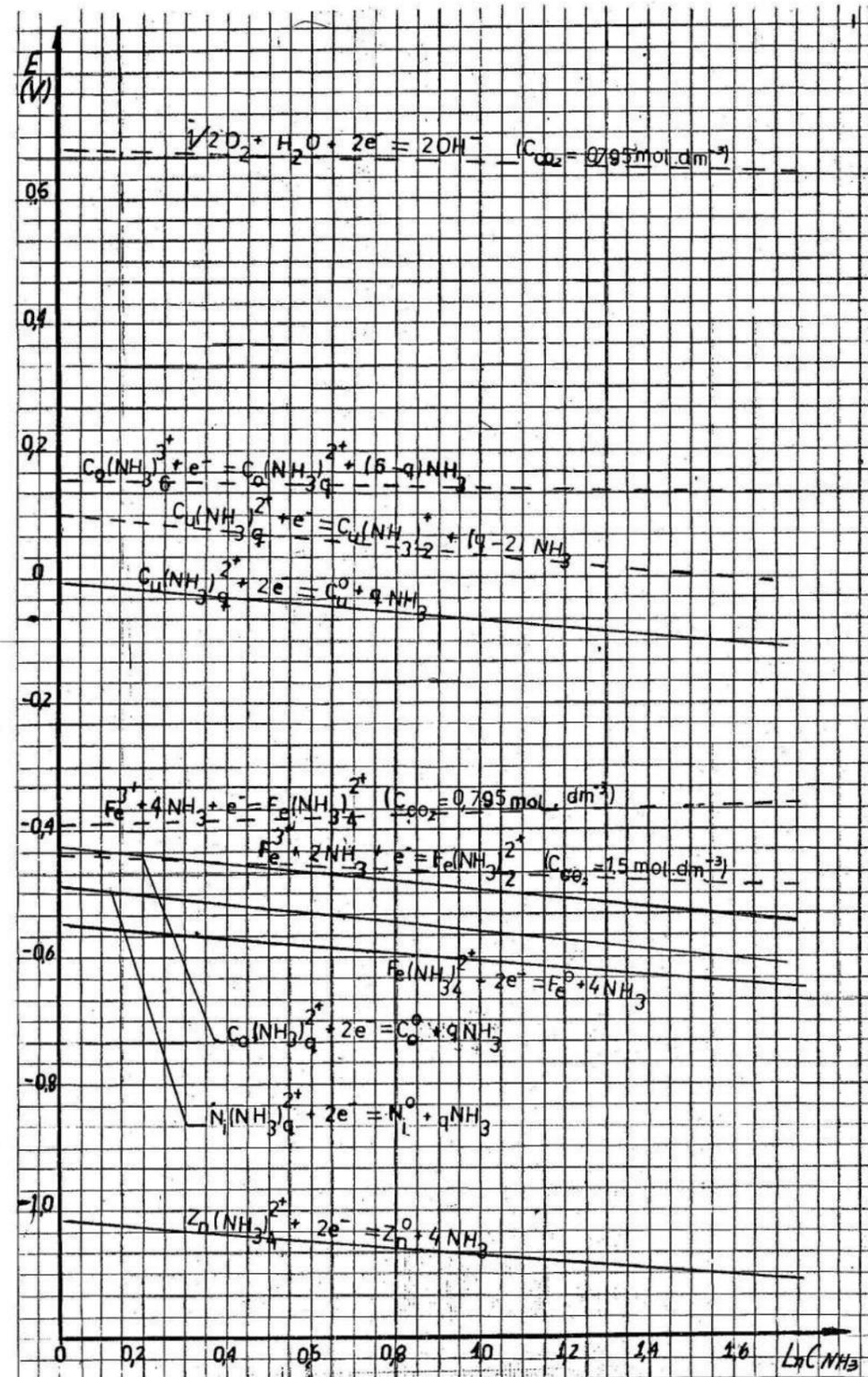


Fig. 3 Dependencia del potencial electroquímico de la concentración de NH_3 libre de acuerdo a la cantidad de grupos de amoniacos coordinados (q) a 298,15 K y $P_{\text{O}_2} = 0,101 \text{ MPa}$.

Estudio de las características hidrodinámicas y de transferencia de masa de los cuerpos de contacto cónicos-alados

Ing. Angel Pérez R., Instituto Superior Minero Metalurgico, Ing. Mario Marro B., Empresa Comandante Pedro Sotto Alba

RESUMEN

En el presente trabajo fueron realizadas las investigaciones correspondientes para determinar las características hidrodinámicas y de transferencia de masa de los cuerpos de contacto cónicos-alados (CCCA), con el objetivo de definir su posible utilización en la intensificación de procesos que transcurren en torres de absorción.

Fue estudiada la dependencia existente entre la resistencia hidrodinámica de los CCCA, la velocidad del gas, la altura estática de la capa y la densidad de reflujo.

Los resultados obtenidos sirvieron de base para la comparación de los CCCA con otros tipos de cuerpos de contacto, llegándose a la conclusión de que los mismos pueden ser utilizados en instalaciones donde sea necesaria la eliminación de sustancias tóxicas en desechos gaseosos de fábricas metalúrgicas, con la finalidad de evitar la contaminación ambiental.

ABSTRACT

This work deals with investigations carried out to determine the hydrodynamic and mass transfer characteristics of winged conical contact bodies (W.C.C.B.) with the purpose of deciding its possible use in the intensification of processes occurring in absorption columns.

As part of work, it was studied the interdependence existing among the hydrodynamic resistance of W.C.C.B., the gas speed, the static height of the contact layer and the reflux density.

The results obtained served as a basis for comparing the W.C.C.B. with other kinds of contact bodies, thus arriving to the conclusion that they can prevent environmental pollution by using them in metallurgical plants where it is necessary to eliminate toxic substances from gaseous wastes.

INTRODUCCION

La importancia de la protección del medio ambiente en nuestro país, ha quedado plasmada en el Anteproyecto de Lineamientos Económicos y Sociales para el quinquenio 1986-1990 "... promover y ampliar las actividades encaminadas a la protección del medio ambiente; aplicar los avances científico-técnicos e incrementar los estudios e investigaciones para el aprovechamiento económico de los residuales; adoptar medidas concretas destinadas a disminuir, y de ser posible eliminar, los vertederos de residuales nocivos; promover la aplicación de tecnologías que originan sólo desechos mínimos ...". En la contaminación atmosférica desempeñan un papel fundamental los desechos gaseosos que a diario vierten diferentes industrias químicas. Muchos han sido los estudios realizados con el objetivo de disminuir las sustancias nocivas de los gases residuales.

Las torres de absorción, con régimen de trabajo gas-líquido a contracorriente, son objeto de investigación con la finalidad de ser utilizadas en la limpieza de gases de desechos.

En la actualidad se intensifican los trabajos para resolver problemas relacionados con los aparatos que poseen capas de cuerpos de contacto. Especial atención se presta al estudio de nuevos tipos de cuerpos de contacto que posean una su-

perficie específica desarrollada (S_{esp}), adecuado volumen libre (ξ), baja densidad volumétrica (ρ_v) y capacidad de trabajo en sistemas heterogéneos, compuestos por aire con partículas de polvo y sustancias tóxicas.

Con este objetivo fue creado por un grupo de investigadores del I P D un nuevo tipo de cuerpo de contacto cónico alado (CCCA), hecho de poliestireno en forma de cono truncado con tres álabes o paletas distribuidas con una inclinación de 30° en la superficie exterior. Estas aletas son las que posibilitan el vuelo en forma de parábola desde la capa, lo que permite aumentar considerablemente la superficie de contacto entre los flujos a contracorriente. Las características del CCCA para su comparación con otros tipos (cilíndricos alados y en forma de aro o anillo) se muestran en la tabla 1.

Nuestro trabajo tuvo como objetivo esencial el estudio de las características hidrodinámicas y de transferencia de masa del CCCA, para su introducción y utilización en los procesos que transcurren en sistemas gas-líquido a contracorriente.

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DE LOS CCCA

Las investigaciones fueron realizadas en una instalación de laboratorio compuesta por una torre de absorción de una sección ($d = 80$ mm) con un sistema transmisor de gases a contracorriente con el agua, los

Tabla 1

Tipo de cuerpo de contacto	Dimensiones del cuerpo	Superficie específica	Volumen libre	Densidad volumétrica	Masa del cuerpo
	mm	m^2/m^3	m^3/m^3	kg/m^3	g
CCCA	20 14 15 2	300	0,83	200	2,0
CCC; A	17 15 2	290	0,758	281	1,84
CCC	17 17 2	296	0,767	214	1,8

CCCA cuerpo de contacto cónico-alado

CCC; A cuerpo de contacto cilíndrico-alado

CCO cuerpo de contacto anular

instrumentos necesarios de control y medición, y un mecanismo captador de gotas el esquema de la instalación experimental se representa en la figura 1. En calidad de malla distribuidora de apoyo, fueron utilizados distintos tipos de bandejas ahuecadas de veniplasto de un grosor de 6 mm con superficies libres de un 15, 30, 40 y 50 %.

La altura de la capa estática de CCCA (H_{est}) se varió desde 50 hasta 150 mm la velocidad del gas (W_g) en diapazones

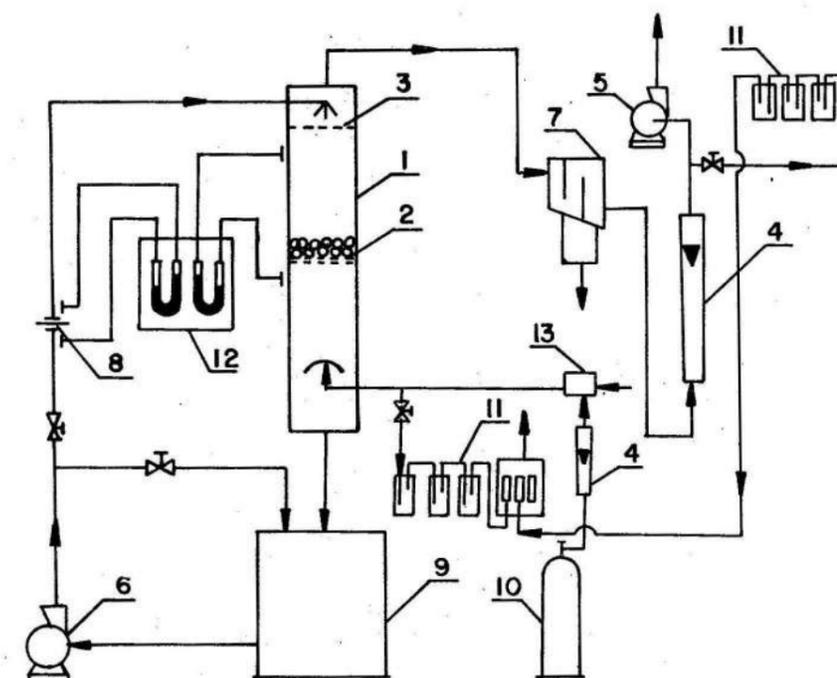


Fig. 1 Esquema de la instalación experimental utilizada en el estudio de las características hidrodinámicas y de transferencia de masa de los CCCA.

1. Torre de absorción; 2. Bandeja o plato de distribución y sostén de la capa de contacto; 3. Malla de contención de la capa; 4. Rotámetro; 5. Ventilador; 6. Bomba; 7. Captador de gotas; 8. Platillo de orificio; 9. Recipiente para el agua; 10. Balón con amoníaco; 11. Sistema para el análisis del gas; 12. Manómetro diferencial; 13. Mezclador de gases.

de 0,3 hasta 2,2 m/s , la densidad de reflujo (L) desde 10 hasta 72 m³/(m².h) .

Se investigó la dependencia existente entre la resistencia hidráulica (ΔP) de la capa de CCCA con la velocidad del gas y la densidad de reflujo (L) ; dependencia de la altura dinámica (H_{din}) de la capa con

relación a la velocidad del gas ; también se investigaron las características de otros tipos de cuerpos de contacto con el objetivo de obtener ciertas características que permitieran la comparación con el CCCA

Fue demostrado que la expresión $\Delta P = f (W_g)$ posee un carácter curvo - lineal (Fig. No. 2) . Los pun-

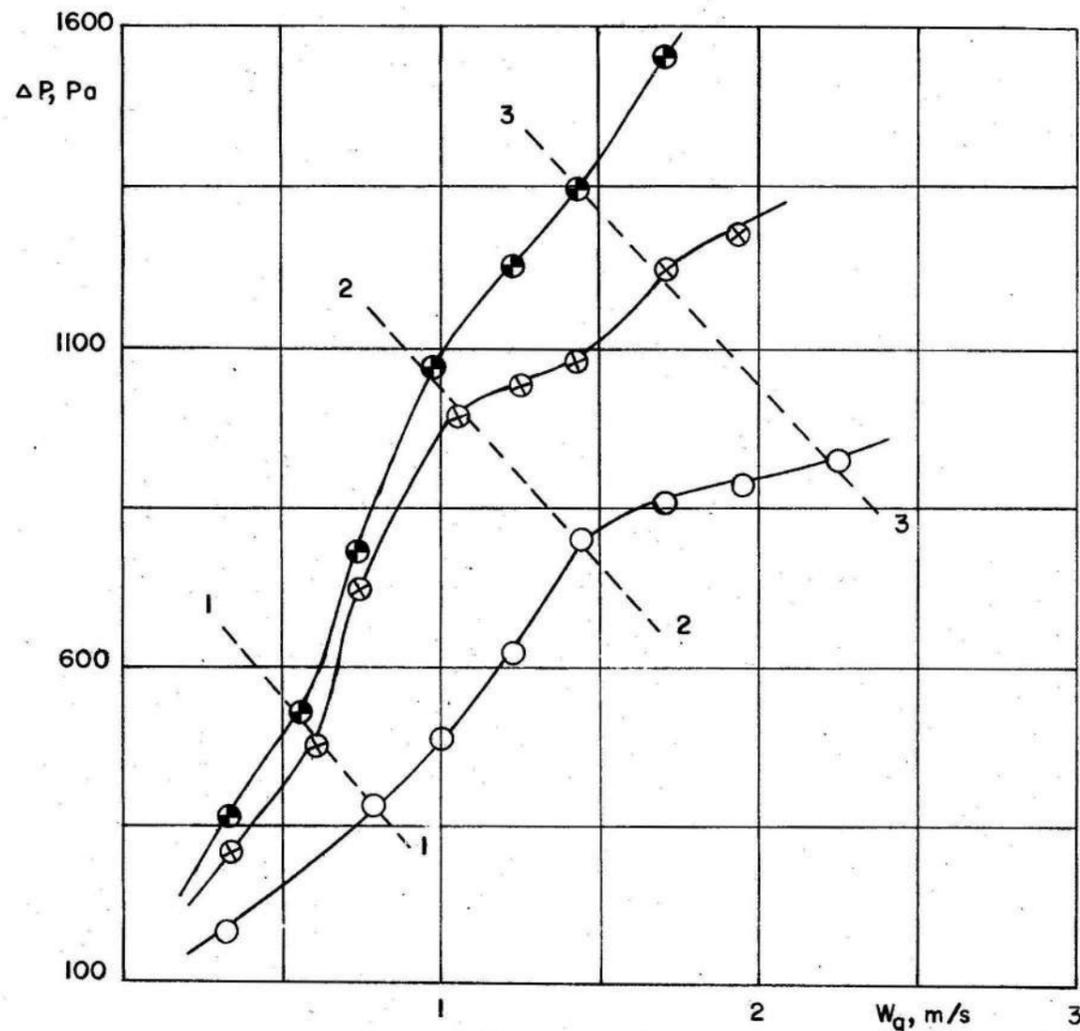


Fig. 2 Dependencia entre la resistencia hidrodinámica y la velocidad del gas, para distintos valores de densidades de reflujo y $H_{est} = 75 \text{ mm}$, $\Delta P = f(W_g)$

- 72 m³/(m².h) ;
- ⊗ 62 m³/(m².h) ;
- 44 m³/(m².h)

tos de transición en las curvas corresponden a la velocidad del gas , a partir de las cuales se produce al paso de un régimen de trabajo hidrodinámico a otro, con una densidad de reflujo determinada.

Resultó de gran interés para nuestra investigación observar que para distintos valores de L, estos puntos se encuentran alineados en una recta que los une. Así, la recta 1-1 determina el paso de un régimen estático de los CCCA a otro de transición. La recta 2-2 determina el paso a un régimen ideal de trabajo y la 3-3 a un régimen de movimiento intenso.

Al elaborar los resultados obtenidos por el método de mínimos cuadrados , se obtuvo la siguiente ecuación (1) para la recta 2 - 2 :

$$\Delta P = b_2 - 540 W_{ri} \quad (1)$$

donde

W_{ri} - velocidad del gas cuando se pasa a un régimen de trabajo ideal.

ΔP - resistencia hidráulica correspondiente a esta velocidad.

Para la obtención de la ecuación que determina la dependencia W_{ri} de L [$W_{ri} = f(L)$] , tomamos los valores de las velocidades correspondientes a cada valor de L (densidad de reflujo) en los puntos de paso de un régimen de trabajo a otro en la recta 2 - 2 ; elaborándolos de la misma manera que la anterior (méto-

do de mínimos cuadrados), obtuvimos la ecuación (2) :

$$W_{ri} = b_1 - 0,0173 L \quad (2)$$

Para las densidades de reflujo utilizadas, los valores de los coeficientes b_1 y b_2 los encontramos en la tabla 1, en dependencia de la altura estática.

TABLA 1 VALORES DE LOS COEFICIENTES b_1 Y b_2 EN DEPENDENCIA DE LA ALTURA ESTÁTICA (H_{est})

H_{est} , mm	50	75
b_1 , m/s	1,2	1,48
b_2 , Pa	1 120	1 600

En la figura 3 se muestra la dependencia ΔP de W_g para $H_{est} = 50 \text{ mm}$. El carácter de la dependencia es análogo al mostrado anteriormente en la figura 2 ; aunque las curvas son más pronunciadas, la gráfica nos muestra que también ΔP depende de la altura estática de la capa de CCCA [$\Delta P = f (H_{est})$] .

La dependencia entre la altura dinámica de la capa de CCCA y la velocidad del gas, para una $H_{est} = 50$ y 100 mm , se muestra en las figuras 4 y 5 , de éstas se desprende que es una dependencia recto - lineal . Además, para una $H_{est} = 50 \text{ mm}$ las curvas de las rectas son iguales y su coeficiente angular positivo. Sólo en diapazones donde los valores de la velocidad del gas son

pequeños o mínimos ($W_g = 0,6$ m/s ; Fig. No. 4) la función $H_{din} = f(L)$ prácticamente no existe, lo que se corresponde con los regímenes de las figuras 2 y 3 donde, se pone de manifiesto la composición estática

de la capa de los CC . En la figura No. 6 se muestran los resultados de las investigaciones de $\Delta P = f(L)$ para bandejas con distintos valores de sección libre :

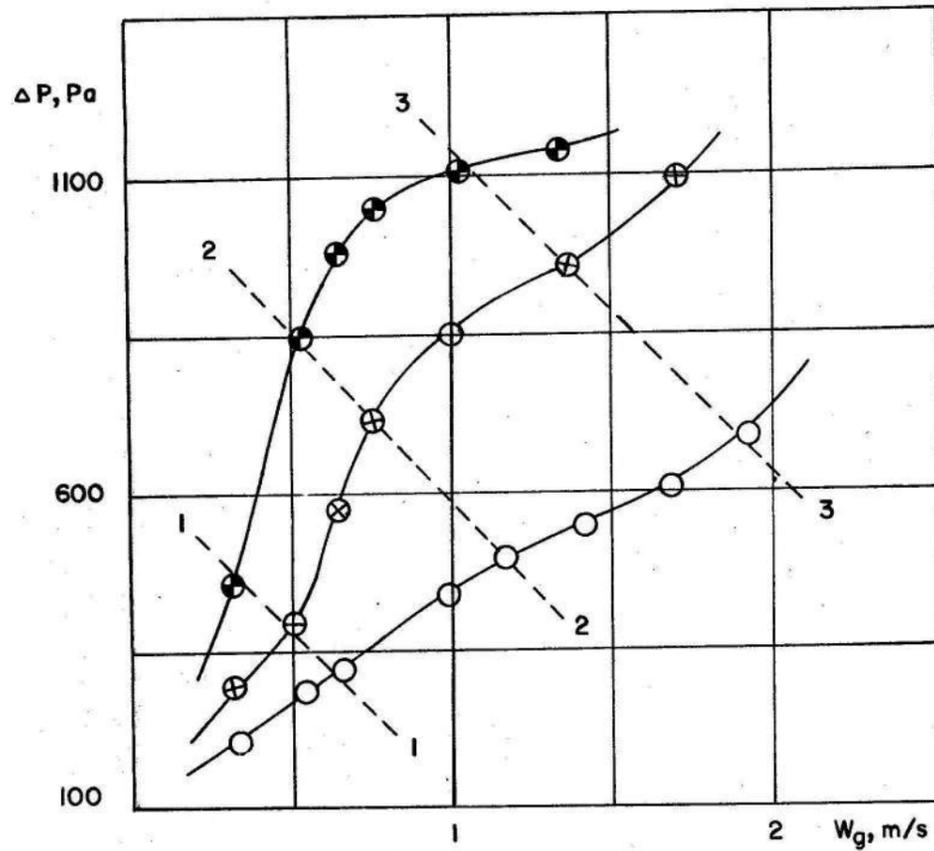


Fig. 3 Dependencia entre la resistencia hidráulica de los CCCA y la velocidad del gas a partir de una $H_{est} = 50$ mm y una superficie libre de la bandeja igual al 30% , $\Delta P = f(W_g)$
Densidades de reflujo

- 72 m³/(m².h)
- ⊗ 62 m³/(m².h)
- 44 m³/(m².h)

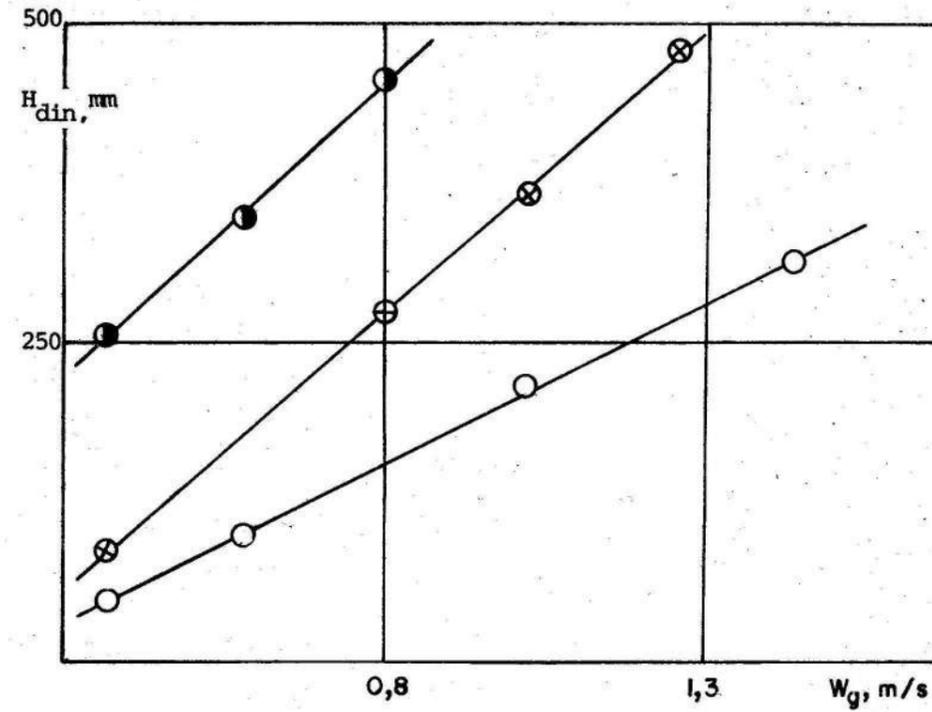


Fig. 4 Dependencia entre la altura dinámica de la capa y la velocidad del gas a partir de una superficie libre en la bandeja igual al 15%
Densidades de reflujo:

- 10 m³/(m².h)
- ⊗ 14 m³/(m².h)
- 20 m³/(m².h)

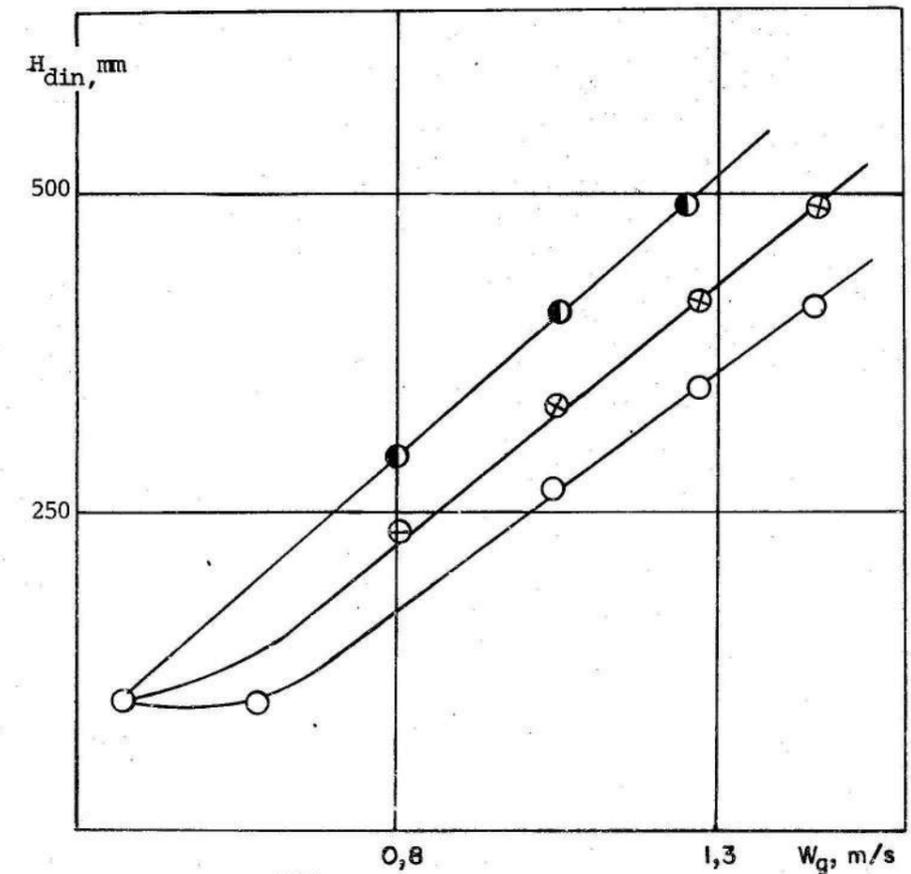
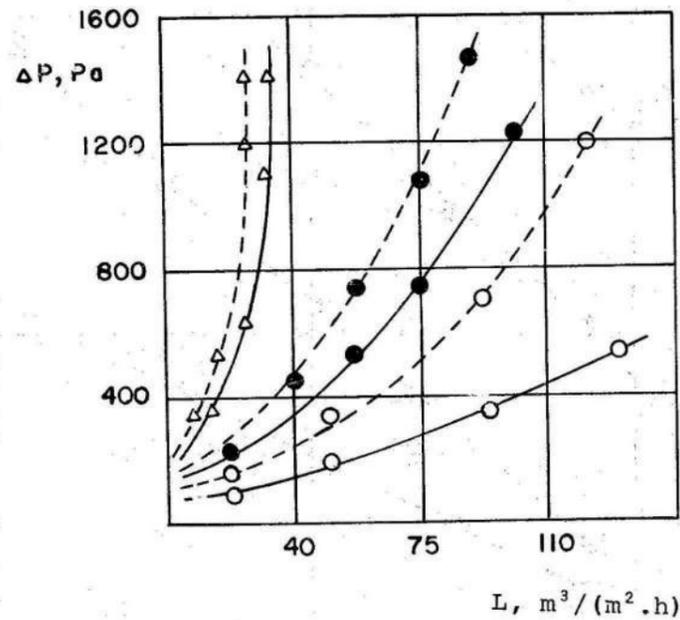


Fig. 5 Dependencia entre la altura dinámica de la capa y la velocidad del gas a partir de una altura estática igual a 100 mm y una superficie libre de la bandeja igual al 15%

- 10 m³/(m².h)
- ⊗ 14 m³/(m².h)
- 20 m³/(m².h)

Fig. 6 Dependencia entre la resistencia hidráulica y la densidad de reflujo

- $H_{est} = 50 \text{ mm}$
- - - $H_{est} = 100 \text{ mm}$
- Superficie libre de la bandeja igual al 50 %
- Superficie libre de la bandeja igual al 30 %
- △ Superficie libre de la bandeja igual al 15 %



$F_{libre} = 15,30$, 50 % a partir de los valores de altura estática: $H_{est} = 50$ y 100 mm . Como lo demuestra la figura, la inclinación de las curvas $\Delta P = f(L)$ está en dependencia de F_{libre} . Si se disminuye F_{libre} la dependencia de ΔP de L aumenta pero muy poco, y a partir de $F_{libre} = 15 \%$ las curvas prácticamente se obtienen verticales; lo que demuestra la imposibilidad de un trabajo normal en estas condiciones.

Los datos comparativos de $\Delta P = f(W_g)$ para distintos cuerpos de contacto se muestran en la figura 7. En las condiciones comparativas, los CCCA poseen un mínimo de resistencia hidrodinámica y un intervalo lo suficientemente amplio de velocidades para el trabajo.

De esta manera, las investigaciones hidrodinámicas realizadas para los CCCA demuestran su superioridad ante cualquier otro tipo de

CC; además, han dado la posibilidad de fijar una serie de características hidrodinámicas de los CC; y obtener las ecuaciones que reflejan la dependencia de la resistencia hidrodinámica de la velocidad del gas y de la densidad de reflujo.

Investigaciones sobre las características de transferencia de masa de los CCCA

Después de realizadas las investigaciones hidrodinámicas pertinentes, y de dejar fijados los parámetros esenciales de este cuerpo de contacto, procedemos a investigar sus características de transferencia de masa. Para ello se puso en función del trabajo la segunda parte de la instalación experimental (análisis químico). La concentra-

ción de amoníaco (NH_3) en la mezcla con aire, se varió desde 0,1 hasta 0,55 %. Los análisis de las muestras líquidas fueron hechos por el método

4 : 25 mL de líquido analizado, con algunas gotas de indicador rojo de metilo, valorando con ácido sulfúrico hasta el cambio de color.

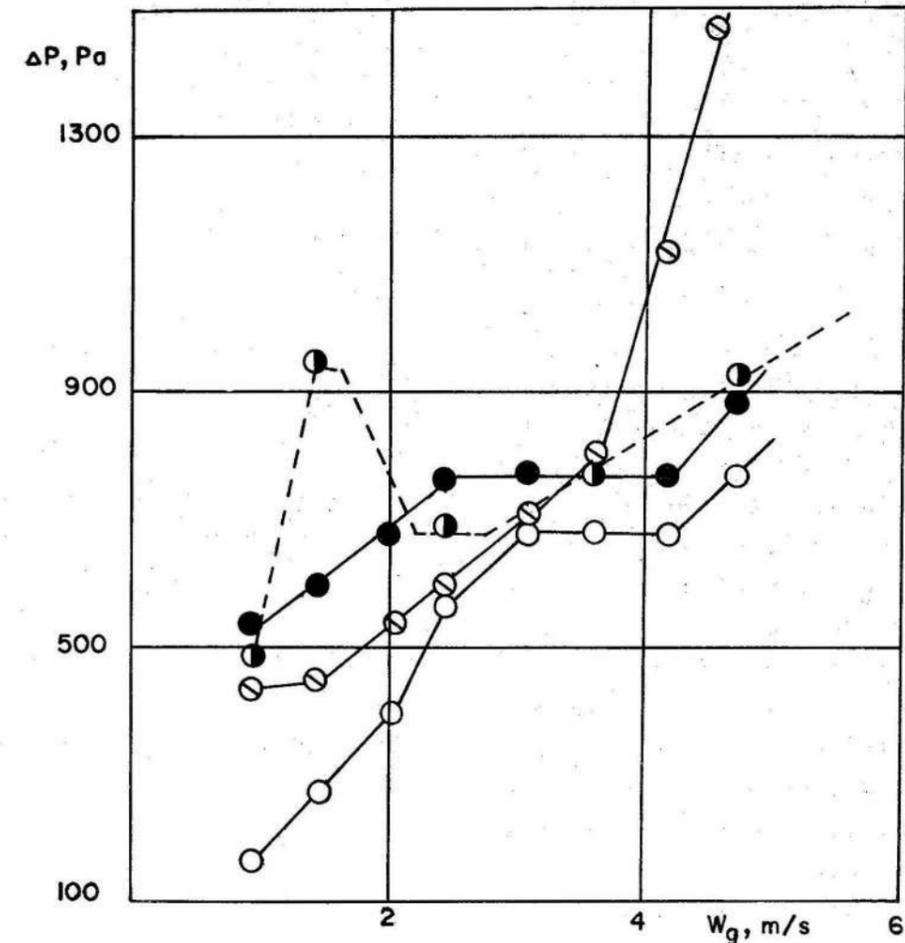


Fig. 7. Dependencia entre la resistencia hidráulica y la velocidad del gas para distintos tipos de cuerpos de contacto:

- Cónico alado
- ⊖ Anular
- Esférico
- Cilíndrico alado

Superficie libre de la bandeja : 40 %
 $H_{est} = 50 \text{ mm}$
 $L = 72 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

La concentración del NH_3 absorbido se encontró por la fórmula :

$$C = \frac{17 N \cdot V}{V_0}$$

donde :

C - concentración de NH_3 en la muestra g/L

N - normalidad H_2SO_4 g - eq/L

V - cantidad de H_2SO_4 consumido en la valoración, mL

V_0 - volumen de la cantidad de muestras de líquido, escogidas para el análisis, mL

El análisis de la mezcla aire-amoníaco a la entrada y salida de la torre fue realizado por el método de valoración volumétrica. Para esto se echaron en frascos de absorción 25 mL de solución 0,1 N de H_2SO_4 , agregándosele 2 - 3 gotas de indicador rojo de metilo y el resto de agua destilada (partiendo de las condiciones de completa absorción del NH_3 en el frasco). Posteriormente, con ayuda de un aspirador, se hizo pasar la mezcla a través de los frascos. El final de la absorción se determinó por el cambio de coloración en la disolución de rojo hasta amarillo limón. El volumen de la mezcla aire-amoníaco se determinó a través del medidor de gas. La composición de NH_3 se calculó por la siguiente fórmula:

$$y_a = \frac{17 \cdot y \cdot N}{y_0}$$

donde :

y_a - concentración de NH_3 ; g/L

y_0 - volumen de gas escogido para el análisis; L

Y - volumen de ácido utilizado en el frasco; mL

N - normalidad H_2SO_4 ; g . eq/L.

El coeficiente de absorción (K), en relación con la superficie del corte transversal de la torre lo calculamos por la ecuación principal de transferencia de masa:

$$G = K \cdot F \cdot Y$$

donde:

G - masa del gas absorbido

F - superficie del corte transversal de la torre; $0,005 \text{ m}^2$

Y - fuerza motriz media del proceso de absorción a contracorriente

La Y la encontramos como la media logarítmica (el amoníaco es un gas que se disuelve fácilmente).

$$y = \frac{y_i - y_f}{\lg \frac{y_i}{y_f}}$$

donde :

y_i , y_f - concentración inicial y final de la mezcla aire-amoníaco a la entrada y salida de la torre, respectivamente.

CONCLUSIONES

Fueron investigadas las características hidrodinámicas y de transferencia de masa de los cuerpos de

contacto cónicos - alados utilizados en procesos que transcurren en sistemas gas - líquido.

La superficie libre de las bandejas de sostén y distribución se varió de 15 a 50 %, la altura estática de la capa de cuerpos de contacto de 50 a 150 mm, la velocidad del gas de 0,3 a 2,2 m/s y la densidad de reflujo de 10 a 72 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Se obtuvieron las ecuaciones de la dependencia entre la resistencia hidrodinámica, la velocidad del gas y la densidad de reflujo en un régimen de trabajo ideal.

Se determinó el campo óptimo de aplicación de los cuerpos de contacto cónicos -alados con el objetivo de intensificar los procesos de transferencia de masa.

REFERENCIAS

1. ALEKANDROV, I. A. : Aparatos de rectificación y absorción. Moscú, Ed. Química 1971.
2. ALEKCEEN, V. N. : Análisis Cuantitativos, Moscú, Ed. Química. 1972.
3. SHERSTOBITOB, B. G.: "Diploma de innovador" No. 691171, Boletín de Innovadores No. 38, 1979.
4. TARACHESHNIKOV, N. C.; PODIANOV, A. I. y OTROS : Técnica de protección del medio, Moscú, Editorial Química, 1981.

EL INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO OFERTA CURSOS Y ESTUDIOS DE POSTGRADO EN:

Ingeniería geológica
Hidrogeología
Búsqueda y exploración de yacimientos minerales
Metalurgia y otros.

DIRIGA SU CORRESPONDENCIA A:

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES Y POSTGRADO
LAS COLORADAS
MOA. PROV. HOLGUIN