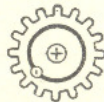


QUIMICA INDUSTRIAL

PUBLICACION CIENTIFICA TECNICA E INFORMATIVA DE LA
ASOCIACION DE QUIMICOS INDUSTRIALES DEL URUGUAY

AÑO XIII — VOL. VI
NUM. 2



JULIO - DICIEMBRE
1960

COMISION DE REVISTA

Director-Redactor Responsable:
Quím. Ind.
GLADYS REY DE DELLACHA

Administrador:
Quím. Ind. OMAR J. ROSSELLI

Secretario:
Sr. WALTER SUAREZ

Colaboran en este número:
Q. Farm. J. W. GREZZI
Q. Ind. R. W. MARTRES
Dr. en Química: JORGE J. RONCO
Q. Ind. DARIO L. RIZZO
Q. Ind. WALTER DIBARBOURE
Q. Ind. MANUEL E. CANOSA

Dirección y Administración:
Avda. AGRACIADA 1464 - Piso 13
Montevideo - Uruguay

SUMARIO

| | Pág. |
|-------------------|------|
| AUTORIDADES | 42 |
| EDITORIAL | 43 |

SECCION CIENTIFICA

| | |
|--|----|
| LA POLAROGRAFIA APLICADA A LA INDUSTRIA DE LOS PLAGUICIDAS. DETERMINACION DEL ISOMERO GAM- MA DEL 1, 2, 3, 4, 5, 6 - HEXACLOROCICLOHEXANO. SU APLICACION AL ESTUDIO DE GARRAPATICIDAS.— J. W. Grezzi y R. W. Martres | 45 |
| TECNOLOGIA DE LAS OPERACIONES Y LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA QUIMICA. II. (Continuación). — Dr. en Química Jorge J. Ronco | 51 |
| CONFERENCIA PRONUNCIADA EN LA AGRUPACION UNI- VERSITARIA SOBRE EL TEMA "SEGURIDAD INDUS- TRIAL". — Q. I. Dario L. Rizzo | 64 |
| FERTILIZANTES EN EL URUGUAY, LEGISLACION, IMPOR- TACION, FABRICACION, CONSUMO. — Q. Ind. Walter Dibarboure | 79 |

- ◆ Precio de un ejemplar: \$ 3.00 moneda nacional. Suscripción por volumen \$ 12.00 moneda nacional.
- ◆ **Fotocopias y microfilms.** — Se remitirán a requerimiento de los lectores, fotocopias y/o microfilms de los artículos publicados. El precio de los microfilms es de \$ 1.00 por página (en negativo). Las copias fotostáticas se remitirán a \$ 1.00 por página (en negativo). En ambos casos se recargará el costo de franqueo.
- ◆ Esta revista se remite gratuitamente a los socios, a las publicaciones que mantengan canje regular con ella y a las instituciones científicas nacionales que lo soliciten.
- ◆ SE SOLICITA CANJE, ON PRIE L'ECHANGE, EXCHANGE SOLICITED, PREGIAMIO IL CAMBIO, PEDESE PERMUTA.
- ◆ Los apartados se solicitarán al presentar los originales y serán de cuenta de los autores.

La Asociación de Químicos Industriales y la Dirección de QUIMICA INDUSTRIAL no siempre se solidarizan con las ideas y juicios emitidos en los artículos de los cuales son responsables sus autores.

Tecnología de las operaciones y los procesos de la Industria Química. II.

Dr. en Química JORGE J. RONCO

Facultad de Química y Farmacia. — Universidad Nacional de La Plata.
Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas de la Provincia de Buenos Aires (LEMIT). La Plata República Argentina.

(Continuación)

I. Tecnología de las operaciones físicas.

II. Operaciones con sistemas sólidos.

Como se indicó en el primer artículo de esta serie, dentro de un esquema general que guía la consideración de la tecnología de las operaciones y los procesos de la industria química, se presentarán los trabajos originales de investigación. Esto se hace para dar fundamento conceptual y bibliográfico a dichos trabajos de investigación y a la vez dar un panorama general y coordinado de las bases científicas de la tecnología química (1,1).

I. TECNOLOGIA DE LAS OPERACIONES FISICAS.

Se define como operación física aquella en la que solo ocurre un fenómeno físico, por lo tanto sin reacción química; toda operación con cambio de concentración, sin reacción química, que podría definirse como una "operación fisicoquímica", se involucra en este capítulo.

Por tecnología de las operaciones físicas se define el estudio de estas operaciones, durante su realización en equipos industriales, desde el punto de vista de la aplicación de las leyes y los mecanismos fundamentales en la forma más ampliamente generalizada.

II. OPERACIONES CON SISTEMAS SOLIDOS.

Este capítulo deberá considerar el estudio de las propiedades fundamenta-

les del estado sólido y de los sistemas sólidos, que deberán dar la base científica al subsiguiente estudio tecnológico.

Los sistemas a considerar sólo incluyen sólidos puros o sistemas heterogéneos sólido-sólido. Todo aquel sistema que pueda utilizar conceptos de viscosidad o similares, se incluirá en el capítulo 12: Operaciones con sistemas fluidos.

111. Física Técnica.

1111. Introducción y generalidades.

A pesar de reconocer que la física es una ciencia fundamental y que por lo tanto no puede ser técnica, se utiliza el título general de Física Técnica para involucrar conceptos físicos básicos, por lo tanto científicos, que han de dar la base al estudio tecnológico de las respectivas operaciones.

El presente capítulo se diferencia de los siguientes agrupados bajo el nombre de Tecnología de cada una de las respectivas operaciones, en que estudiará las propiedades intrínsecas de los sistemas, que son por completo independientes de los equipos y formas de realizar las operaciones tecnológicas; la integración de estas propiedades intrínsecas con los equipos y formas de operación conducirá a la tecnología particular de cada operación.

1112. Propiedades físicas del estado sólido.

Sobre la base de la definición del estado sólido y su estructura, entendiendo por aquél el estado de la materia que se opone a los cambios de forma y volumen (111,1), y que por lo tanto mantiene su forma, a menos que sea sujeto a grandes esfuerzos (111,2), se deberán considerar las diferentes propiedades que luego tendrán aplicación básica en tecnología química.

11121. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas a ser consideradas por su futura aplicación a las operaciones tecnológicas son: (111,3) (111,4).

- 1 — Densidad.
- 2 — Dureza.
- 3 — Elasticidad.
- 4 — Fricción.
- 5 — Friabilidad y ductibilidad.
- 6 — Cohesión.

11122. Propiedades térmicas y termodinámicas.

Dentro de este grupo deberán ser consideradas fundamentalmente las siguientes propiedades (111,5):

- 1 — Calor específico (111,6).
- 2 — Temperatura de fusión.
- 3 — Cambios de entalpía y energía libre, de fusión y de modificación alotrópica.
- 4 — Expansión térmica.

11123. Propiedades difusionales.

Este capítulo deberá incluir todas las propiedades de transporte o transferencia, siendo las fundamentales las que correspondan a las transferencias de materia y de calor.

111231. Transferencia de materia (111,7) (111,8) (111,9) (111,10) (111,11) (111,12).

Este capítulo deberá ser de fundamental importancia para los futuros desarrollos de la tecnología de las reacciones químicas, en sistemas heterogéneos sólido-sólido.

La velocidad de transferencia es expresada por el coeficiente de difusión definido en la ley de Fick:

$$\frac{dM}{dt} = -D. A. \frac{dc}{dl} \quad (111,1)$$

expresando:

- M = masa de componente en difusión.
- D = coeficiente de difusión.
- A = área de transferencia.
- c = concentración de componente en difusión.
- l = distancia a través de la cual la difusión tiene lugar.

111232. Transferencia de calor (111,13) (111,14).

Similarmente a la transferencia de materia, la transferencia de calor es expresada por el coeficiente de conducción, definido en la ecuación de Fourier:

$$\frac{dQ}{dt} = -k. A. \frac{dt}{dl} \quad (111,2)$$

expresando los nuevos símbolos:

- k = coeficiente de conducción.
- Q = cantidad de calor transferido.
- t = temperatura.

1113. Propiedades físicas de los sistemas sólidos granulares.

11131. Estática de los sistemas granulares.

Dentro de este capítulo se deberán considerar las propiedades de los sistemas sólidos granulares en reposo. Estas propiedades serán la base para el estudio tecnológico de su almacenamiento y darán los conceptos previos para el estudio de la dinámica de estos sistemas.

Las propiedades fundamentales a ser consideradas son (111,15) (111,16):

- 1 — Densidad aparente.
- 2 — Angulo de fricción interna.
- 3 — Angulo de reposo.
- 4 — Angulo de ruptura.

Los sistemas sólidos granulares tienen muchas de las propiedades de los fluidos, en el caso de su estudio estático es de sumo interés la consideración de la presión estática de dichos sistemas (111,17) (111,18).

11132. Dinámica de los sistemas sólidos granulares.

Este capítulo deberá considerar las propiedades intrínsecas de los sistemas sólidos granulares, que afectan sus capacidades de movimiento. Desde este punto de vista estos materiales pueden

clasificarse en (111,19) (111,20): cohesivos y no cohesivos, estos últimos presentan dos tipos fundamentales de comportamiento:

- 1—De "flujo libre", que corresponde a aquellos formados por partículas de tamaño uniforme y forma redondeada.
- 2—De "flujo pobre o restringido", caracterizados por su tamaño y forma irregular, por lo que tienden a producir estructuras trabadas.

Como se ha expresado anteriormente, los sólidos granulares no cohesivos presentan muchas analogías con los líquidos plásticos no-newtonianos y las leyes que gobiernan su flujo pueden derivarse de las leyes de la fricción (111,21).

112. Tecnología de los sistemas sólidos granulares.

Este capítulo deberá comprender la integración de las propiedades intrínsecas de los sistemas sólidos granulares, con los equipos y formas de operación.

1121. En reposo.

Desde el punto de vista tecnológico este capítulo incluirá fundamentalmente el estudio de equipos para el almacenamiento de sólidos granulares.

La propiedad básica a ser considerada deberá ser la presión estática del material y su influencia en las paredes del recipiente que lo contiene (111,18) (112,1).

1122. En movimiento.

11221. Por medios naturales.

Desde el punto de vista tecnológico, el movimiento de sólidos granulares por medios naturales tiene aplicación en dos sistemas fundamentales:

- 1—A través de conductos verticales.
- 2—A través de orificios o aberturas.

El primer caso presenta similitud con el movimiento de líquidos en conductos. La distribución de velocidades muestra un frente central de velocidad uniforme y máxima y valores decrecientes hacia las paredes (112,2).

Un trabajo en realización dirigido por el autor (112,3):

"Movimiento de sólidos granulares por caída libre en conductos verticales. Grinsberg T, y Ronco J. J. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires",

estudia la relación entre el estado de movimiento de la fase sólido granular, determinado colocando trazadores coloreados, y las variables en juego. Como resumen del desarrollo previo a la parte experimental en ejecución, se postula que existiría una función de las variables en juego igual a cero, éstas serían: velocidad de caída, u ; diámetro del conducto, D ; aceleración de la gravedad, g ; rugosidad del conducto, Σ ; diámetro de la partícula, d_p y coeficiente dinámico de fricción interna, f .

$$() (u, D, g, \Sigma, d_p, f) = 0 \quad (112,1)$$

Realizando su análisis dimensional:

$$() \left[\begin{array}{cccc} u^2 & \Sigma & d_p & \\ \hline & & & f \\ D \cdot g & D & D & \end{array} \right] = 0 \quad (112,2)$$

La agrupación $u^2/D \cdot g$, reúne los conceptos del número de Froude, Fr :

$$() \left[\begin{array}{ccc} \Sigma & d_p & \\ \hline (Fr), & & f \\ D & D & \end{array} \right] = 0 \quad (112,3)$$

Aceptando en principio una función del tipo logarítmico:

$$f = (Fr)^\alpha \cdot \left(\frac{\Sigma}{D} \right)^b \cdot \left(\frac{d_p}{D} \right)^c \quad (112,4)$$

la que representaría las condiciones de circulación y movimiento del sólido granular cayendo libremente en un conducto vertical.

En el caso de sólidos granulares en movimiento, debe también tomarse en consideración, como en el caso de líquidos, la presión de impacto (111,18).

El segundo caso, sólidos granulares en movimiento a través de orificios, considera los mecanismos de su realización. (112,4), (112,5), (112,6).

Los conceptos de los dos casos considerados conducen al estudio tecnológico integral de la descarga y manipuleo de los sólidos granulares. Jenike (111,18) ha desarrollado una teoría y ha determinado una propiedad, llamada el "factor de flujo", la cual gobierna el flujo y además ha desarrollado ecuaciones generales (112,7).

11222. Por medios artificiales.

112221. Por medios mecánicos (excepto cilindros rotatorios).

El movimiento de sólidos granulares por medios mecánicos está ampliamente

estudiado en la bibliografía corriente de Ingeniería Química, siendo sus desarrollos fundamentalmente empíricos.

112222. Por cilindros rotatorios.

Se define tecnológicamente como cilindro rotatorio, a un cilindro hueco que gira sobre su eje, horizontal o ligeramente inclinado y que se encuentra parcialmente lleno con el sólido granular. Ejemplos típicos de estos equipos son los secadores y los hornos rotatorios.

Por su forma de operar pueden clasificarse en equipos discontinuos y continuos. Los primeros cargan el material, lo operan y lo descargan en ciclos discontinuos siendo su eje horizontal. En los segundos el material entra y sale en corrientes continuas, por ambos extremos, siendo por lo tanto operado en forma continua; a los efectos de producir la circulación del material dentro del cilindro, el eje está ligeramente desplazado de la horizontal.

112221. Operación discontinua.

Durante la operación discontinua, siendo el eje del cilindro horizontal el único mecanismo de movimiento encontrado es el debido a la rotación del cilindro, a diferencia de la operación continua que presenta la combinación de los efectos de rotación e inclinación del cilindro.

El desarrollo del presente capítulo se realizará haciendo un resumen de los tres siguientes trabajos dirigidos por el autor:

"Movimiento de materiales en cilindros rotatorios. Ronco, J. J. y de la Serna, E. 8ª Reunión de las Sesiones Químicas Argentinas. La Plata (1956)."

"Movimiento de sólidos granulares en cilindros rotatorios. I. Operación discontinua. Ronco, J. J., de la Serna, E. y Dalmazo E. 9ª Reunión de las Sesiones Químicas Argentinas. San Juan (1958). VII Congreso Latinoamericano de Química. México (1959)."

"Movimiento de sólidos granulares en cilindros rotatorios. II. Operación continua; representación matemática de los estados fundamentales. Ronco, J. J., Dalmazo, E. y Perina, M. 5ª Reunión de las Sesiones Químicas Rioplatenses. Buenos Aires (1959)."

Mecanismos del movimiento de la fase sólido granular.

Cilindros lisos.

En aquellos casos en que la superficie interior del cilindro es muy lisa, el material resbala y ocupa siempre la posición inferior correspondiente al reposo; este caso no interesa en la técnica y es un ejemplo de lo que debe evitarse.

Cilindros rugosos, sin aletas.

Durante la operación discontinua de un sólido granular, en un cilindro rotatorio, se encuentran diversos estados de movimiento, que a continuación se describen: Estado de cascada. (112,8) (112,9) (112,10).

Este estado se encuentra a bajas velocidades de rotación, su mecanismo es el siguiente:

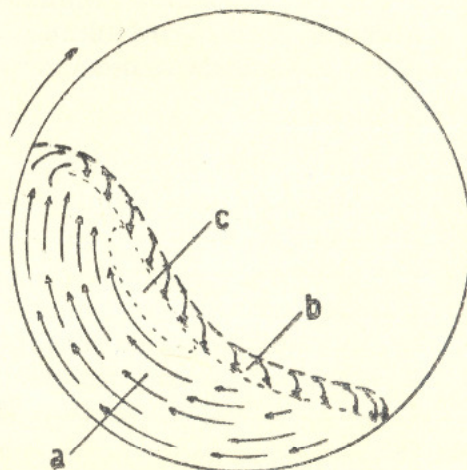


FIG. 112,1

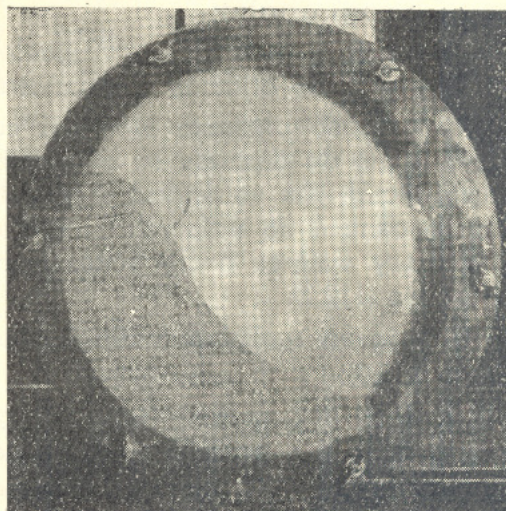


Fig. 112,2

El material que se encuentra sobre las paredes es arrastrado por caminos circulares hacia arriba, generando una zona llamada de rotación (a). Al llegar al valor correspondiente al ángulo dinámico de fricción interna del material, éste cae rodando hacia la parte inferior, generando la zona de rodamiento o cascada propiamente dicha (b). En la parte central del material y ubicada entre las dos zonas anteriores, se encuentra una zona en la cual se localiza una porción de material que gira sobre sí misma, generando la denominada zona neutra (c).

La zona de cascada forma una línea casi recta a bajas velocidades de rotación, definiendo perfectamente un ángulo dinámico; pero incrementando dicha velocidad, esta línea toma forma ondulada como se ve en la figura 112,2. Esta zona de cascada presenta la característica de que su densidad aparente se mantiene constante, por lo tanto la superficie transversal ocupada por el material debe ser un valor constante y lo es también la relación entre el área de dicha superficie transversal y el área de la sección total del cilindro; esta relación es a su vez igual a la relación entre el volumen del material y el del cilindro. Estas relaciones reciben el nombre de **retención, X**, del material en el cilindro.

Estado de catarata.

A mayores velocidades de rotación, por acción de la fuerza centrífuga, el material es elevado a puntos por encima del ángulo de fricción interna, hasta que la acción de la gravedad vence dicha fuerza centrífuga; por ello el material es despedido, cayendo sobre la superficie inclinada donde continúa rodando hasta llegar a la posición inferior, generando el estado de catarata, figuras 112,3 y 112,4.

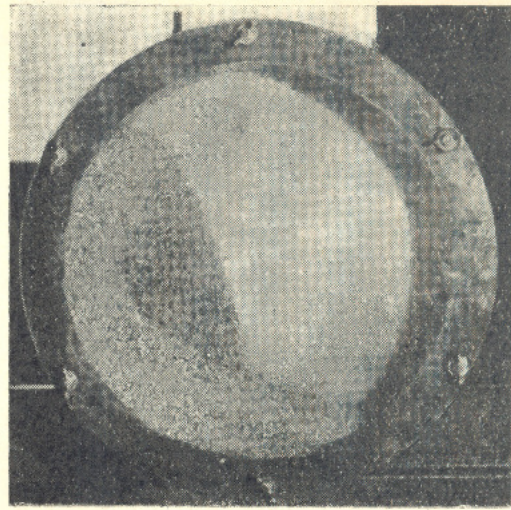


Fig. 112,4

Este estado presenta tres zonas: la de rotación (a), la de cascada (b) y la de catarata (d), presentándose muy indefinida la zona neutra.

En el estado de catarata la densidad aparente no es constante, disminuyendo por efecto del volteo del material, y por lo tanto la superficie transversal ocupada por el material es mayor que en el estado de cascada y su relación con el área transversal del cilindro no corresponde a la retención del material.

El estado donde se pasa de cascada a catarata se llama estado crítico. Estado de equilibrio.

Aumentando la velocidad, las partículas alcanzan un estado en el cual son arrojadas directamente sobre la parte inferior del material, sin producir el mecanismo de rodamiento, figuras 112,5 y 112,6.

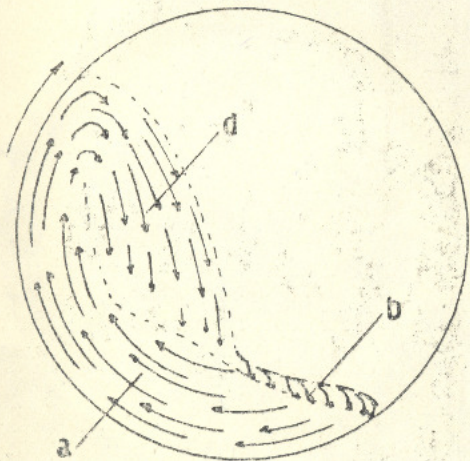


FIG. 112,3

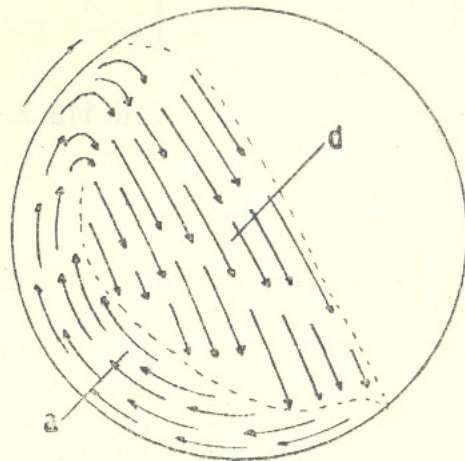


FIG. 112,5

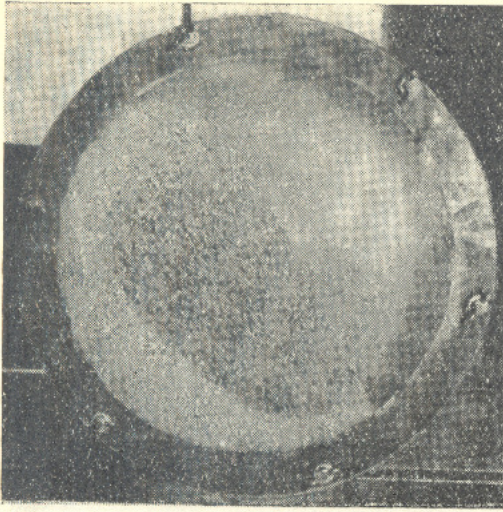


Fig. 112,6

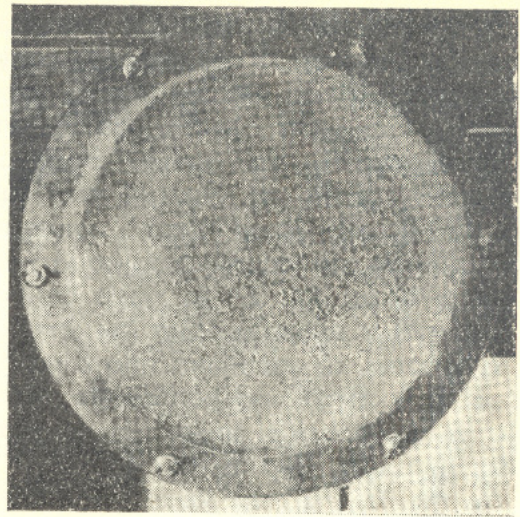


Fig. 112,8

siendo por lo tanto un caso límite del estado de catarata; este estado de equilibrio presenta únicamente las zonas de rotación (a) y catarata (d), habiendo desaparecido la zona de cascada.

Estado de saturación.

Es el estado límite del de equilibrio, en él el material ocupa toda la sección transversal del cilindro, por lo tanto la superficie ocupada es máxima; figuras 112,7 y 112,8.

mándose al mismo tiempo un aro del material sobre el cilindro (e), figuras 112,9 y 112,10.

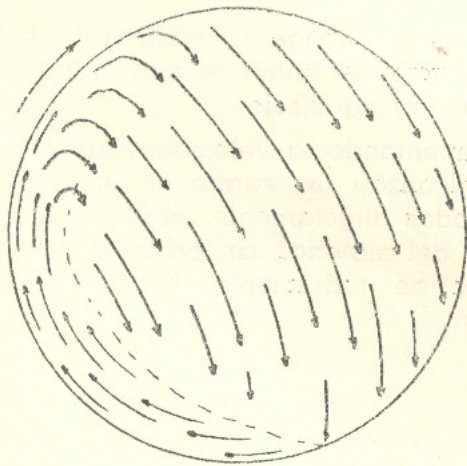


FIG. 112,7

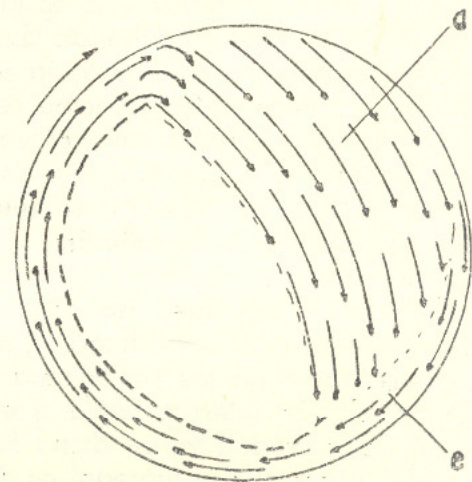


FIG. 112,9

Estado de precentrifugación.

Entre los estados de saturación y centrifugación, se encuentra un estado intermedio de precentrifugación, éste se encuentra sólo dentro de valores muy restringidos de las variables en juego. Su mecanismo corresponde a un desplazamiento de la zona de catarata en el sentido de la rotación del cilindro (a), for-

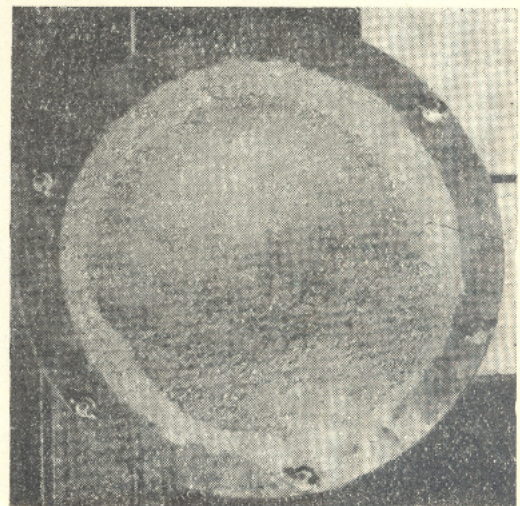


Fig. 112,10

Estos dos últimos estados de movimiento son definidos por primera vez en el presente trabajo, siendo esto necesario pues los análisis y desarrollos matemáticos que a continuación se muestran, demostraron que los estados definidos en la bibliografía resultaban insuficientes para una interpretación general.

Estado de centrifugación.
A muy altas velocidades el material se adhiere a las paredes (e), por fuerza centrífuga. En este estado la relación de áreas corresponde aproximadamente a la retención del material, figura 112,11.

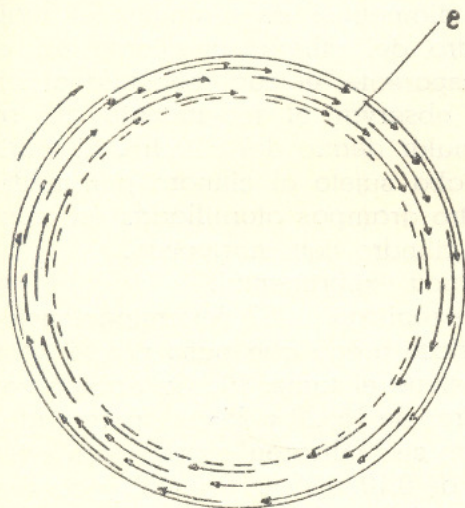


FIG. 112,11

Cilindros con aletas.

En aquellos casos en que se desea trabajar en estados similares a los de catarata o saturación, pero a bajas velocidades de rotación; se utilizan cilindros con aletas interiores, que por efecto mecánico de dichas aletas producen la caída del material; figura 112,12.

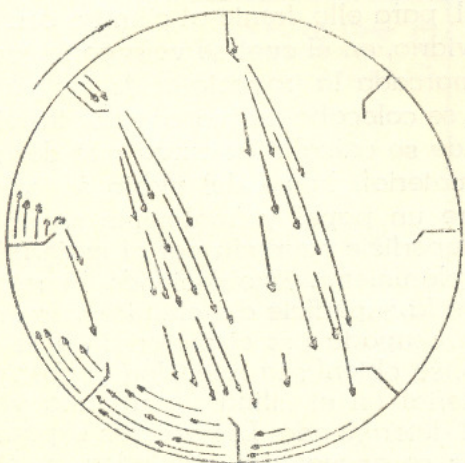


FIG. 112,12

Expresión de los estados de movimiento y los valores críticos de transición (cilindros sin aletas).

Habiendo definido los diversos estados de movimiento del material en el cilindro en operación, por sus mecanismos y siendo éstos representados por las características del área transversal ocupada por el material, se toma como criterio del estado de movimiento la "retención aparente", X_a , del material. Esta es expresada por la relación del área transversal ocupada A , al área transversal total del cilindro, A_t , por lo tanto:

$$X_a = A/A_t \quad (112,5)$$

Los puntos de separación de cada uno de los estados, darán los correspondientes puntos críticos.

El paso siguiente es determinar la relación que liga la retención aparente, con las variables que afectan el estado de movimiento. Estas últimas, para un material de propiedades constantes son: la velocidad de rotación del cilindro, N ; diámetro del cilindro, D ; aceleración de la gravedad, g , y retención, X :

$$X_a = f(D, N, g, X) \quad (112,6)$$

A los efectos de encontrar la función que las une y como paso previo se realiza el análisis dimensional de las variables en juego; obteniéndose:

$$X_a = f \left[\left(\frac{N^2 \cdot D}{g} \right), (X) \right] \quad (112,7)$$

La agrupación $(N^2 \cdot D/g)$ presenta la forma característica del número de Froude, Fr , y con ese nombre se le designará; pues el estado de movimiento es el resultado de fuerzas centrífugas y gravitacionales, conceptos incluidos en dicho número; por lo tanto:

$$X_a = f [(Fr), (X)] \quad (112,8)$$

Johnstone, R. E. y Thring, M. W. (112,11) estudiando estos mismos mecanismos en un molino a bolas, expresan que el número de Froude constituye el criterio de similitud. Matz (112,12) utiliza también el número de Froude como criterio de similitud, en una ecuación que incluye el denominado ángulo de rotación.

La consideración previa de la relación entre retención aparente y el número de Froude, a retención constante, conduce a prever una representación del tipo de la mostrada en la figura 112,13.

El estado de cascada presenta como característica que su densidad aparente varía muy levemente con el incremento del número de Froude, por lo tanto la retención aparente será muy poco influenciada por dicho número y tendrá un valor muy próximo al de la retención; a este estado le corresponderá una representación como la mostrada en la porción 1 de la curva, limitada por $Fr = 0$ y el valor del número de Froude que separa el estado de cascada del de catarata, denominado número de Froude crítico uno, Frc_1 .

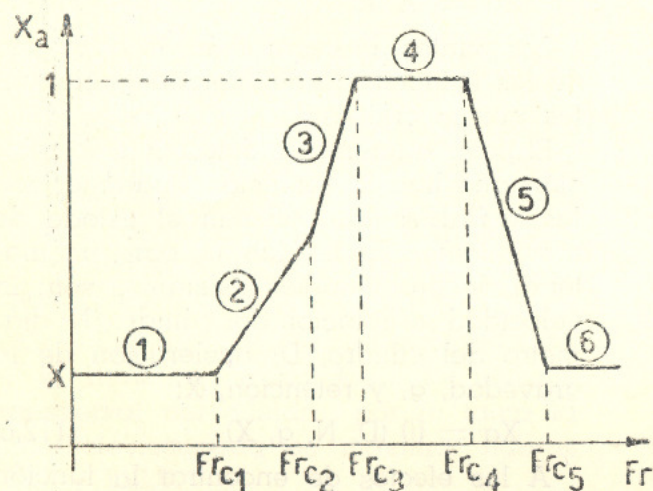


FIG. 112,13

En el estado de catarata la densidad aparente disminuye y por lo tanto la retención aparente aumenta, pasando del Frc_1 , hasta llegar al comienzo del estado de equilibrio, Frc_2 , porción 2 de la curva.

El estado de equilibrio está ubicado dentro de un rango muy limitado de números de Froude, por su característica de presentar sólo zonas de rotación y cascada y sus límites son Frc_2 y Frc_3 , porción 3.

El estado de saturación presenta un valor de retención aparente igual a 1, dado que el material llena todo el cilindro y sus límites son Frc_3 , y Frc_4 , porción 4.

En el estado de precentrifugación la retención aparente cae bruscamente, entre los valores de Frc_4 y Frc_5 , porción 5, hasta llegar al estado de centrifugación, donde la retención aparente toma nuevamente un valor aproximado al de la retención original; esta zona se encuentra a partir de Frc_5 y corresponde a la porción 6 de la curva.

Determinaciones experimentales.

Equipo utilizado.

Para el estudio experimental del movimiento de los sólidos granulares el equipo utilizado fué el siguiente: un eje, en cuyos extremos se colocaron dos volantes, se halla montado sobre rodamientos; uno de los volantes va unido por correas al sistema motriz por intermedio de un variador de velocidad; los volantes tienen por objeto absorber todos los movimientos de vibración y otros movimientos que se producen en el sistema. En el otro volante se colocaban cilindros de distintos diámetros; se mantuvo el material dentro del cilindro mediante un vidrio transparente, el cual permitía al operador observar el movimiento del sólido granular dentro del cilindro. El vidrio se hallaba sujeto al cilindro por medio de cuatro grampas atornilladas en la pared del cilindro con mariposas.

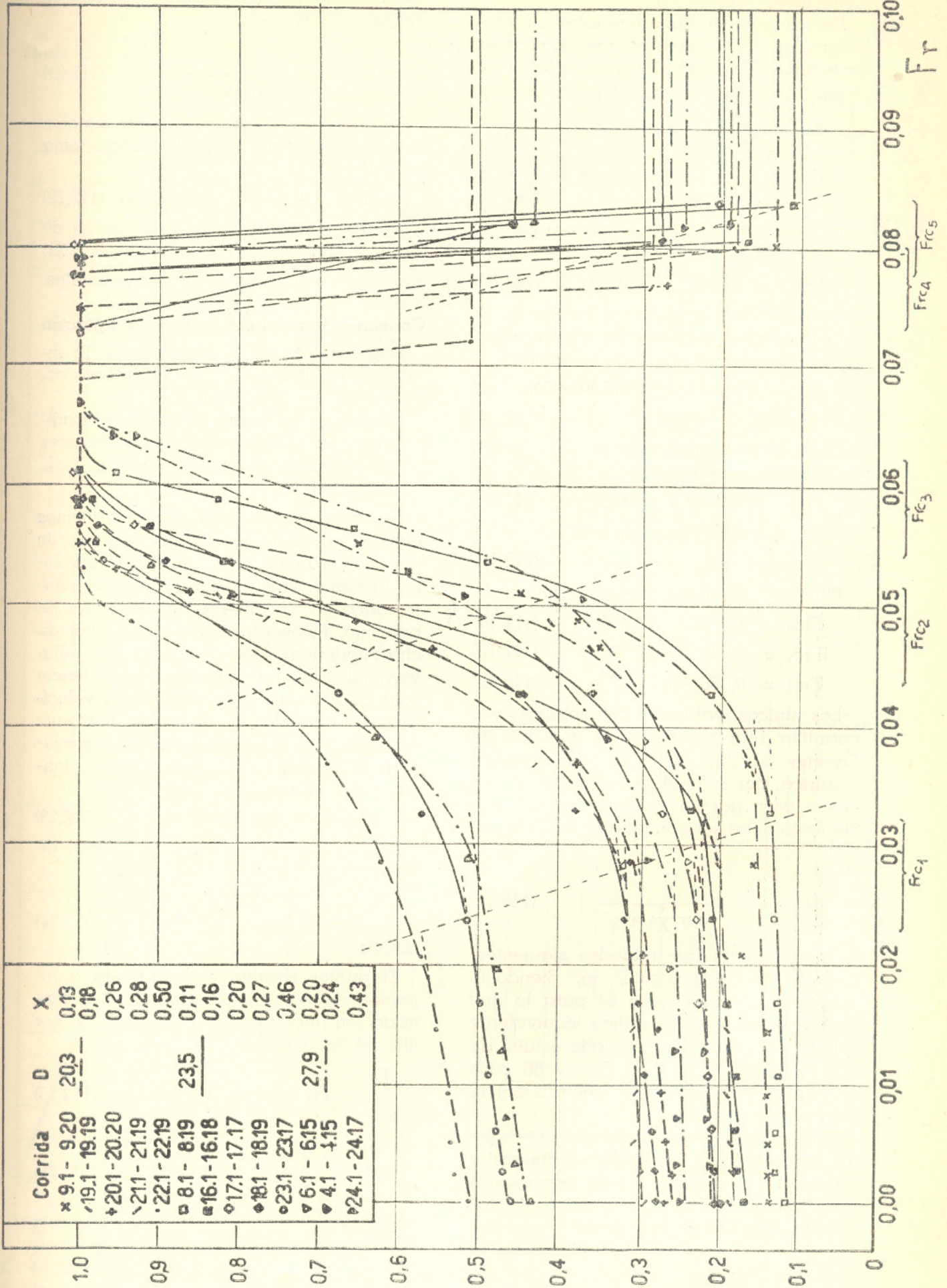
Técnica experimental.

Se realizaron 287 determinaciones utilizándose arena que pasa por el tamiz 16 y retiene el tamiz 10. Se trabajó con cilindros de 15, 20 y 25 cm.; para cada diámetro se realizaron corridas con retenciones de 0,10, 0,15, 0,20 y 0,25 y en algunos casos 0,40 y 0,45.

La velocidad se fué incrementando de a 10 v.p.m. en el estado de cascada, mientras que al pasar las 80 v.p.m. la velocidad fué incrementada de 2 a 4 v.p.m.; esta disminución del incremento de velocidad se debe a que como se trata de la zona de uno de los estados críticos, se quería obtener la mayor cantidad de puntos posible, para trazad las curvas experimentales.

Para obtener la retención aparente del material en movimiento, se aplicaron dos procedimientos, el fotográfico y el manual, para ello, frente al cilindro con tapa de vidrio, en el cual se veía perfectamente marcada la trayectoria de las partículas, se colocaba un marco con otro vidrio, donde se calcaba la curva que describía el material; luego del vidrio se calcaba sobre un papel y finalmente se obtenía la superficie ocupada por el material con un planímetro. Estableciendo la relación entre la superficie del cilindro y la superficie ocupada por el material en el cilindro, se obtenía la retención aparente del material en el cilindro para una velocidad determinada. Los valores experimentales se encuentran tabulados en el trabajo III y se representan en la figura 112,14.

$$X_a = \frac{A}{A_t}$$



Ecuaciones empíricas.

De los valores experimentales en consideración se obtienen las siguientes ecuaciones empíricas y valores críticos:

Para el estado de cascada:

$$X\alpha = 0,012 + X + \frac{X - 0,10}{10,1 + 66X} \quad (112,9)$$

El límite de esta ecuación está dado por Frc_1 :

$$Frc_1 = 0,0343 - 0,022X \quad (112,10)$$

Las porciones segunda y tercera de la curva, estados de catarata y saturación están representadas por la ecuación:

$$X\alpha = (109,03 - 10,9X) (Fr7,402 - 8,6X) + 0,021 + 10,6X \quad (112,11)$$

El valor de transición entre los estados de catarata y saturación es:

$$Frc_2 = 0,0530 - 0,02X \quad (112,12)$$

Para el estado de saturación:

$$X\alpha = 1 \quad (112,13)$$

Para los restantes valores críticos:

$$Frc_3 = 0,063 - 0,019X \quad (112,14)$$

$$Frc_4 = 0,082 - 0,019X \quad (112,15)$$

$$Frc_5 = 0,086 - 0,019X \quad (112,16)$$

Los únicos valores bibliográficos que permiten una comparación son los de Oyama (112,13). Este da una relación empírica, por la cual la velocidad de rotación para dar un cierto estado de movimiento debe ser computada de la ecuación:

$$N = \frac{C}{D^{0,47} \cdot X^{0,14}} \quad (112,17)$$

en la cual usa las unidades siguientes: para N , min^{-1} y para D , m. Siendo C una constante que vale 54 para lo que Oyama llama estado crítico, equivalente a Frc_1 ; 72 para el denominado estado de equilibrio, equivalente a Frc_3 y 86 para el denominado estado de centrifugación, equivalente a Frc_5 .

Una relación similar puede obtenerse de las anteriores ecuaciones adimensionales. Si se toman como ecuaciones aproximadas para la variación de los valores críticos las siguientes:

$$Frc_1 = 0,0185 \cdot X^{-0,25} \quad (112,18)$$

$$Frc_3 = 0,0389 \cdot X^{-0,25} \quad (112,19)$$

$$Frc_5 = 0,0548 \cdot X^{-0,25} \quad (112,20)$$

Utilizando las unidades de Oyama, y despejando N se llega:

$$N = \frac{C}{D^{0,5} \cdot X^{0,125}} \quad (112,21)$$

Para la cual C despejada de valores experimentales del presente trabajo toma los valores:

$$C_1 = 25,6 \quad C_3 = 37,1 \quad C_5 = 44,0 \quad (112,22)$$

El uso comparativo de la ecuación de Oyama (112,17) y la ecuación (112,21) conduce a valores prácticamente iguales.

Consumo de potencia durante la agitación

Este capítulo es un resumen de la introducción bibliográfica de un trabajo actualmente en terminación:

"Consumo de potencia durante la agitación de sistemas sólidos granulares en cilindros rotatorios. Ronco, J. J., Dalmazo, E. y Perina, M."

De la consideración de los mecanismos puestos en juego se deduce que una de las propiedades que puede intervenir en la expresión del estado de movimiento, debe ser, o derivar del consumo de potencia, P , necesario para mantener dicho movimiento. Las variables que influyen sobre dicho consumo de potencia son: D , diámetro del cilindro; N , velocidad de rotación; ρ , densidad aparente del material; g , aceleración de la gravedad; X , retención del material y Z , longitud del cilindro.

$$P = f(D, N, \rho, g, X, Z) \quad (112,23)$$

Realizando el análisis dimensional de dichas variables:

$$\left(\frac{P}{D^5 N^3 \rho} \right) = f \left(\left(\frac{DN^2}{g} \right), (X), \left(\frac{Z}{D} \right) \right) \quad (112,24)$$

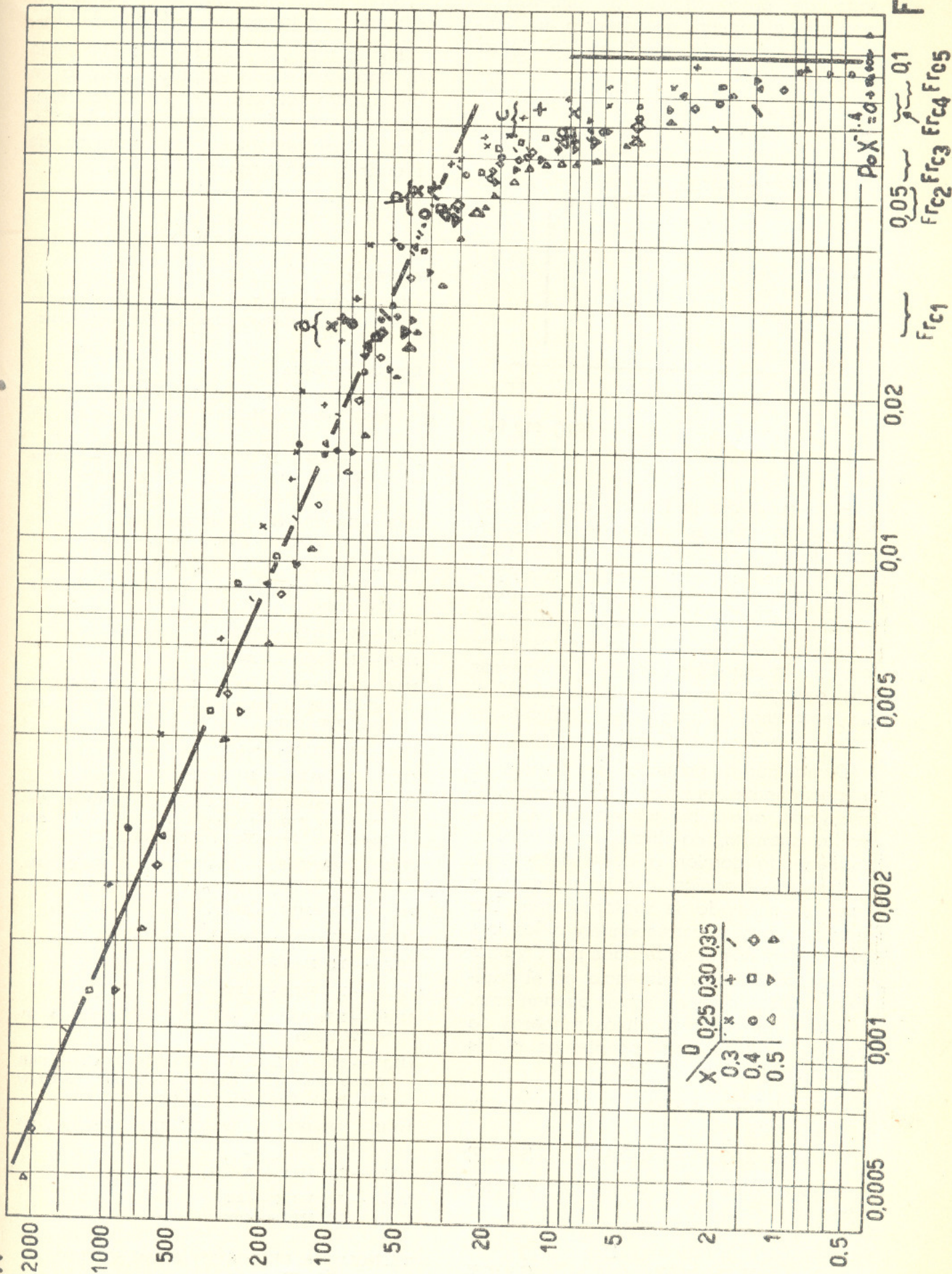
El primer término presenta una agrupación de variables similar a la encontrada en movimiento de flúidos y por ello se la denomina:

$$\frac{P}{D^5 N^3 \rho} = Po, \text{ número de potencia} \quad (112,25)$$

$$Po = f \left(\left(\frac{Z}{D} \right), \left(\frac{DN^2}{g} \right), (X) \right) \quad (112,26)$$

En una primera consideración de esta relación, trabajando a retención y longitud constantes, es previsible postular la influencia del número de Froude en el número de potencia, para los estados

$P_o \cdot X^{-1.4}$



previos al de precentrifugación. En el estado de precentrifugación comienza a anularse el número de potencia, u_z tiende a cero en el de centrifugación, figura 112,15.

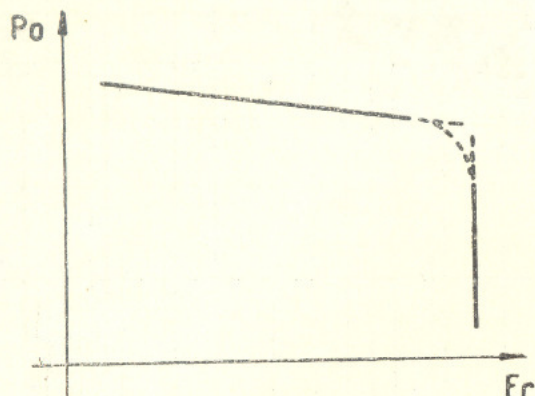


FIG. 112,15

Para encontrar la función que liga los diversos grupos, se utilizan valores experimentales presentados por Oyama (112,14); en ellos expresa el consumo de potencia de piedra caliza (1,35 mm) con variación de la retención, velocidad de rotación y diámetro. En base a estos datos se calcula para Z constante los números de potencia y Froude; en la figura 112,16 se representa en gráfico logarítmico-logarítmico $P_o.X-b$ en función de Fr.

Dicha curva presenta dos porciones perfectamente definidas, una ligeramente inclinada, que cubre los estados de cascada, catarata, equilibrio y saturación; la segunda porción a partir del estado de precentrifugación, cae bruscamente a cero en el estado de centrifugación. Las letras a, b y c corresponden a los tres estados críticos considerados por Oyama, a los que se hizo referencia en el capítulo anterior; dichos estados pueden compararse con los respectivos números de Froude críticos correspondientes a los gráficos 112,13 y 112,14.

Para la primera curva la ecuación que la representa es:

$$P_o = 2,57.Fr^{-0,91}.X^{1,4} \quad (112,27)$$

Si esta ecuación se generaliza y aproxima a:

$$P_o = K.Fr^{-1}.X^{\frac{Z}{D}} \quad (112,28)$$

despejando el valor de la potencia:

$P = K.D^3.N.\rho.X.Z.$ (112,29)
se obtiene una ecuación similar a la presentada por Johnstone y Thring (112,15).

Por lo tanto, el estado de movimiento de una fase sólido granular operada en un cilindro rotatorio, se podrá expresar por el número de potencia, o por los valores correspondientes del número de Froude y la retención.

BIBLIOGRAFIA

GENERAL

1,1 — RONCO, J. J. y colaboradores. Introducción a la Tecnología Química. En preparación.

FISICA TECNICA

111,1 — BOSWORTH, R. C. L. — Physics in Chemical Industry, McMillan and Co., London. 257 (1950).

111,2 — CREMER, H. W y DAVIES, T. — Chemical Engineering Practice. Vol 2 Butterworths Scientific Publications, London. 1 (1956).

111,3 — BROWN, G. — Unit Operations. John Wiley and Sons, Inc. New York. 7 (1950).

111,4 — SINNOT, M. — The Solid State for Engineers. John Wiley and Sons, Inc. New York. 277 (1958).

111,5 — Id. 111,4 — 289.

111,6 — Id. 111,1 — 280.

111,7 — BARRER, R. M. — Diffusion in and Through Solids. Cambridge University Press, London. 239 (1941).

111,8 — Id. 111,1 — 535.

111,9 — Id. 111,4 — 351 y 372.

111,10 — BOSWORTH, R. C. L. — Transport Processes in Applied Chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York. 129 (1956).

111,11 — SEITZ, F. — The Physics of Metals. McGraw Hill Book Company, New York 174 (1943).

111,12 — Id. 111,1 — 389.

111,13 — Id. 111,1 — 590.

111,14 — Id. 111,4 — 306.

111,15 — Id. 111,2 — 3,382.

111,16 — ZENZ, F. A. — Petroleum Refiner. 4, N° 4, 174 (1957).

111,17 — McCABE, W. L. y SMITH, J. C. — Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw Hill Book Company. 242 (1956)

111,18 — JENIKE, A. W. — Chem. Eng. 61, N° 12, 175 (1954).

111,19 — Id. 111,2 — 3, 384.

111,20 — Id. 111,17 — 243.

111,21 — Id. 111,1 — 410.

TECNOLOGIA DE LOS SISTEMAS SOLIDOS GRANULARES

112,1 — LEE, Ch. A. — Chem. Eng. 61, N° 12, 181 (1954).

- 112,2 — BRINN M. S., FRIEDMAN S. J., GLUCKERT F. A. and PIGFORD R. L. — *Ind. Eng. Chem.* **40**, Nº 6, 1050 (1948).
- 112,3 — GRINSBERG T. y RONCO J. J. — Tesis doctoral (en ejecución). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Buenos Aires.
- 112,4 — FOWLER R. T. and GLASTONBURY J. R. — *Chem. Eng. Sci.* **10**, 150 (1959).
- 112,5 — BROWN R. L. and RICHARDS J. C. — *Trans. Inst. Chem. Engrs.* **37**, Nº 2, 108 (1959)
- 112,6 — FRANKLIN F. C. and JOHANSON L. N. — *Chem. Eng. Sci.* **4**, Nº 3, 119 (1955).
- 112,7 — JENIKE A. W. — Bulletin 64, University of Utah, **45**, Nº 9, part II (1954).
- 112,8 — OYAMA Y. — *Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research, Tokyo.* **37**, Nº 951, 21 (1949).
- 112,9 — DREW T. and HOOPES J. W. — *Advances in Chemical Engineering*, Academic Press Inc. New York, 209 (1958).
- 112,10 — SAEMAN W. C. — *Chem. Prog.* **47**, Nº 10, 508 (1951).
- 112,11 — JOHNSTONE R. E. and THRING M. W. — *Pilot Plants, Models and Scale-Up Methods in Chemical Engineering*, McGraw Hill Book Company, New York, 227 (1957).
- 112,12 — MATZ W. — *Le Principe de Similitude in Genie Chimique*. Dunod, París, 95 (1959).
- 112,13 — Id. 112,8 — 23.
- 112,14 — Id. 112,9 — 299.
- 112,15 — Id. 112,11 — 229.

(Continuará)