Biblioteca Digital
F C E N - U B A

BIBLIOTECA CENTRAL LUIS F LELOIR
BIBLIOTECA CENTRAL LELOIR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UBA

Tesis de Posgrado

Ensayos de filtración

Quirot de Poligny, Igor Guy

1959

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:
Quirot de Poligny, Igor Guy. (1959). Ensayos de filtración. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0994_QuirotdePoligny.pdf

Cita tipo Chicago:
Quirot de Poligny, Igor Guy. "Ensayos de filtración". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1959.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0994_QuirotdePoligny.pdf

EXACTAS UBA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

UBA
Universidad de Buenos Aires

Dirección: Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA - Tel. (++54 +11) 4789-9293

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

"ENSAYOS DE FILTRACION"

Tesis de

IGOR GUY QUIROT DE POLIGNY

TESIS 951

Padrino de Tesis

INGENIERO J.M. BADOS

FILTRACION

Generalidades.

Se llama "filtración" a una operación unitaria que consiste en separar las partículas de un sólido en suspensión del líquido que la mantiene, cuando dicha separación tiene lugar haciendo pasar la suspensión, llamada en este caso comúnmente "barro", por un medio poroso que recibe el nombre de "manto" o "capa" filtrante; este manto retiene a las partículas sólidas que forman una "torta", y permite el paso de líquido filtrado a través suyo. La torta aumenta de espesor durante la operación, y, apenas comienza a formarse, actúa como manto filtrante suplementario, aunque con la particularidad de ser variable con el tiempo.

Los filtros suelen clasificarse según la forma en que en ellos se vence la pérdida de carga que produce el manto filtrante en la corriente de líquido filtrado (o, lo que es lo mismo, según el mecanismo creador de la fuerza impulsora que provoca la filtración); pueden ser de presión, de gravedad, o de vacío. En los primeros, tales como los filtros prensa y los verticales de hojas filtrantes, el barro es alimentado a presión sobre el manto filtrante por acción de una bomba; en los segundos, cuyo tipo más característico es el filtro de arena utilizado en las plantas de purificación de agua, la gravedad provee la energía necesaria. En cuanto a los terceros, la filtración se lleva a cabo produciendo un vacío en una de las caras del manto filtrante, con lo que se obtiene la fuerza impulsora necesaria para provocar el flujo de filtrado a través suyo; los filtros de tambor rotativo y de discos son ejemplos de unidades comprendidas en este grupo.

El aumento de espesor de la torta a medida que progresa la operación se traduce, lógicamente, en una mayor pérdida de carga; las consecuencias pueden ser o bien una disminución del caudal filtrado si la fuerza impulsora se mantiene constante, o un necesario aumento de ésta con la resistencia, si se desea caudal constante. De cualquier manera, y para todos los filtros de presión o de gravedad, al cabo de un cierto tiempo de iniciada la operación de filtración la pérdida de carga es tal que su marcha se hace antieconómica, ya sea por la gran presión necesaria para mantener un caudal de filtrado constante, o bien por la disminución de éste al mantener aquella constante. Además, en caso de tortas compresibles, al aumentar la presión sobre ella se compactará, disminuyendo su porosidad y aumentando por lo tanto aún más la resistencia al escurrimiento del filtrado.

Llega así un instante en que es necesario interrumpir la marcha del filtro y lavarlo, reanudando la operación una vez eliminada la torta; los filtros prensa, como también los de gravedad y algunos tipos de vacío, son, por lo tanto, unidades de funcionamiento discontinuo.

La relación de tiempo útil de filtrado a tiempo total de cada ciclo puede tomarse como medida del rendimiento de una operación, y, aunque muy variable según los distintos casos particulares, es siempre relativamente baja, por la conveniencia de no trabajar con pérdidas de carga grandes.

Teoría.

Pudiendo ser considerada la filtración como una operación de transferencia, le será aplicable la ecuación general de flujo, calculable como cociente de una fuerza impulsora sobre una

$$Fl = \frac{FI}{R} \qquad (1)$$

En nuestro caso particular, el primer miembro será el caudal filtrado, y la fuerza impulsora la diferencia de presión entre ambas caras del manto filtrante (en el caso más general, torta y soporte), y la (1) queda:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{\Delta P}{R} \qquad (2)$$

Considerada la filtración como un caso particular del escurrimiento de fluídos a través de medios porosos, le son aplicables las ecuaciones correspondientes, o sea la de Darcy que da la velocidad de filtración (volumen filtrado por unidad de tiempo y de superficie)

$$\frac{1}{S}\frac{dV}{d\theta} = K' \frac{\Delta P}{L\,\mu} \qquad (3)$$

y las siguientes, que dan el volumen filtrado en la unidad de tiempo, y la velocidad de formación de la torta respectivamente:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{S^2}{2\,C_v\,V}\,\Delta P \qquad (4)$$

$$\frac{dL}{d\theta} = \frac{1}{2\,C_L\,L}\,\Delta P \qquad (5)$$

donde las constantes C_v y C_L dependen de la porosidad y esfericidad de la torta, tamaño de las partículas que la forman, densidad de sólidos y líquidos, composición del barro, compresibilidad de la torta, etc.

Partiendo de la (2), Carman ha propuesto su ecuación para la velocidad de filtración, suponiendo $\underline{R}$ formada por 2 términos, uno debido a la resistencia de la torta y otro a la del soporte de la misma; llega así a

$$\frac{dV}{d\theta} \qquad \frac{S\,\Delta P}{\mu\,\alpha\,W' - \mu} \qquad (6)$$

donde α puede considerarse como la resistencia específica de la torta y la del sostén (tela, malla de alambre, etc.). En esta ecuación, así como en la de Ruth que veremos a continuación, la proporcionalidad directa entre la velocidad de filtración y la fuerza impulsora ΔP es sólo cierta si α es constante, o sea para tortas incompresibles totalmente, lo que no sucede prácticamente nunca. Se volverá sobre este tema al mencionar el desarrollo de las experiencias que integran este trabajo.

Ruth y sus colaboradores, partiendo de los hechos experimentales que demuestran que la función

(7)

no es una recta, y que

(8)

es una rama de parábola que no pasa por el orígen de coordenadas, plantearon una ecuación sumamente simple, basada en desplazar los ejes coordenados en V_0 unidades de ordenada y en θ_0 unidades de abscisa, admitiendo así que por el nuevo orígen de coordenados pasa una parábola perfecta de la cual forma parte la curva de filtración. La ecuación es

(9)

El significado físico de las constantes es, para V_c, el volumen de filtrado necesario para producir un espesor de torta tal que produzca una resistencia a la filtración igual a la que produce el sostén solo, y para , el tiempo necesario para que filtre la cantidad V_c. Se considera por lo tanto la resistencia de la tela como si fuera debida a un espesor adicional de la torta depositada sobre ella.

Es válido también acá lo dicho al referirnos a la fórmula de Carman con respecto a la dependencia de la porosidad con la presión.

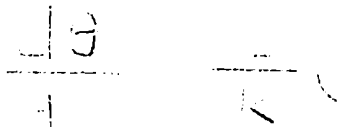
El análisis de las ecuaciones anteriores puede realizarse en dos formas, que coinciden con aquellas en que puede realizarse la filtración, en un filtro prensa por ejemplo: a presión de alimentación constante, o sea con flujo de filtrado decreciente a medida que aumenta el espesor de torta, o bien a flujo constante, aumentando la presión a medida que la operación progresa. En este trabajo sólo se operará a presión constante; los datos a volumen constante pueden deducirse de los anteriores.

La constante K de la (9) involucra una cantidad de constantes físicas del filtrado, del barro y de la torta, así como también características de la operación en sí, tales como presión y superficie de filtración; su expresión es:

(10)

donde , resistencia específica de la torta, puede definirse como la resistencia de 1 kg. de torta seca depositada sobre una superficie de filtración de $1m^2$; su dimensión es $T^2.M^{-1}$.

Si bien la ecuación de Ruth sólo puede aplicarse en su forma integral, como dijimos anteriormente, en caso de permanecer K constante, diferenciada tiene validez general; sería entonces



(11)

y si se trabaja con peso de filtrado en lugar de volumen

(12)

donde las constantes de las ecuaciones (11) y (12) están relacionadas por la expresión

(13)

Para el estudio de una operación de filtración con la ecuación de Ruth se puede trabajar también con el espesor de la torta L o su peso W' para indicar el progreso de la filtración, pero resulta evidentemente más cómodo el empleo de las magnitudes que aparecen en las (11) ó (12), ecuaciones que dan la inversa de la velocidad de filtración instantánea en función de la cantidad de filtrado, sea en volumen o en peso.

La observación de la (12), combinada con la (13) y la (10), nos permite establecer que el caudal filtrado es directamente proporcional a la densidad del líquido, a la diferencia de presiones y al cuadrado de la superficie de filtración. Sorprende al principio esta proporcionalidad respecto al cuadrado de S, cuando es lógico pensar que debería ser con la primera potencia; pero en realidad debemos tener presente que uno de los factores S tiene en cuenta la influencia del espesor de la torta, ya que si a igualdad de líquido filtrado aumentamos la superficie de filtración al de-

ble, el espesor de torta disminuirá a la mitad, y efectivamente el caudal se cuadruplica.

Por otra parte, el caudal es inversamente proporcional a la viscosidad del líquido y a una constante α que tiene distintos valores para distintos barros, y que en el caso más general es función de la porosidad de la torta, la que varía con la presión que sobre ella se ejerce; y es también directamente proporcional al grupo adimensional (1-ms)/s, ó bien a su igual

$$\frac{1-m.s}{s} = \frac{1-s'(m-1)}{s'} \qquad (14)$$

donde el producto m.s. representa el peso de torta húmeda por unidad de peso de barro, 1-m.s. es el peso de filtrado por unidad de peso de barro, y la fracción del primer miembro de la (14) representa entonces peso de filtrado por unidad de peso de sólido seco.

La modificación indicada por la (14), o sea el uso de s' en lugar de s, responde al siguiente desarrollo:

$$\frac{1-m.s}{s} = \frac{\frac{1}{G_s}}{G_s+G_l} - \frac{\gamma_l-\gamma_s}{\gamma_s} = \frac{G_l+G_s}{G_s} - \frac{\gamma_l+\gamma_s}{\gamma_s} =$$

$$= \frac{G_l}{G_s} + 1 - \frac{\gamma_l}{\gamma_s} - 1 = \frac{1-\frac{\gamma_l-\gamma_s}{\gamma_s}\frac{G_s}{G_l+G_s}}{\frac{G_s}{G_l+G_s}} =$$

$$= \frac{G_l}{G_s} - \frac{\gamma_l}{\gamma_s} \qquad (15)$$

$$\frac{1-s'(m-1)}{s'} = \frac{1-\frac{G_s}{G_l}\left(\frac{\gamma_l+\gamma_s}{\gamma_s}-1\right)}{\frac{G_s}{G_l}} = \frac{1-\frac{G_s}{G_l}\frac{\gamma_l}{\gamma_s}}{\frac{G_s}{G_l}} =$$

$$= \frac{G_l}{G_s} - \frac{\gamma_l}{\gamma_s} \qquad (16)$$

y la igualdad de las (15) y (16) demuestra la (14).

La constante α, resistencia específica de la torta, es, para una suspensión determinada, una función de la presión que, según el mismo Ruth, toma la forma:

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P')^n \qquad (17)$$

donde k y n son constantes, y α_0 es la resistencia específica para valor cero de la fuerza impulsora.

La representación gráfica de la (12) conduce a una línea recta que nos dá la inversa de la velocidad de filtración en función de la cantidad de filtrado; su pendiente permite conocer K', y con su valor y las (13) y (10), calcular α en función de las demás magnitudes que en ella aparecen, y que pueden ser determinadas fácilmente. Ello exige, en la forma planteada, la utilización de un filtro prensa, para de su ensayo obtener los valores que permiten representar gráficamente la (12), y los demás valores que conducen a la obtención de valores numéricos de α; esta constante, a su vez, permitirá predecir velocidades de filtración, y por lo tanto el dimensionamiento correcto de una unidad determinada.

La determinación anterior puede resultar no fácil por la exigencia de disponer de una unidad piloto para la experimentación, cosa no siempre posible. Para obviar dicho inconveniente, Walas [1] propuso una expresión que dá la resistencia específica en función de la porosidad de la torta, de la densidad del sólido y del diámetro medio de sus partículas constitutivas, así como también un aparato de laboratorio para obtener los valores necesarios para el cálculo de α. La fórmula de Walas es:

$$\alpha = 9{,}3 \times 10^6 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3 (D_p \times 10^3)^2} \qquad (18)$$

El objeto del presente trabajo es verificar la exactitud de los valores obtenidos con el procedimiento Walas mediante ensayos con un filtro prensa, modificación del porosímetro propuesto por este autor, y determinación de los valores de $\alpha = f(\Delta P)$.-

DESCRIPCION DE LOS APARATOS EMPLEADOS

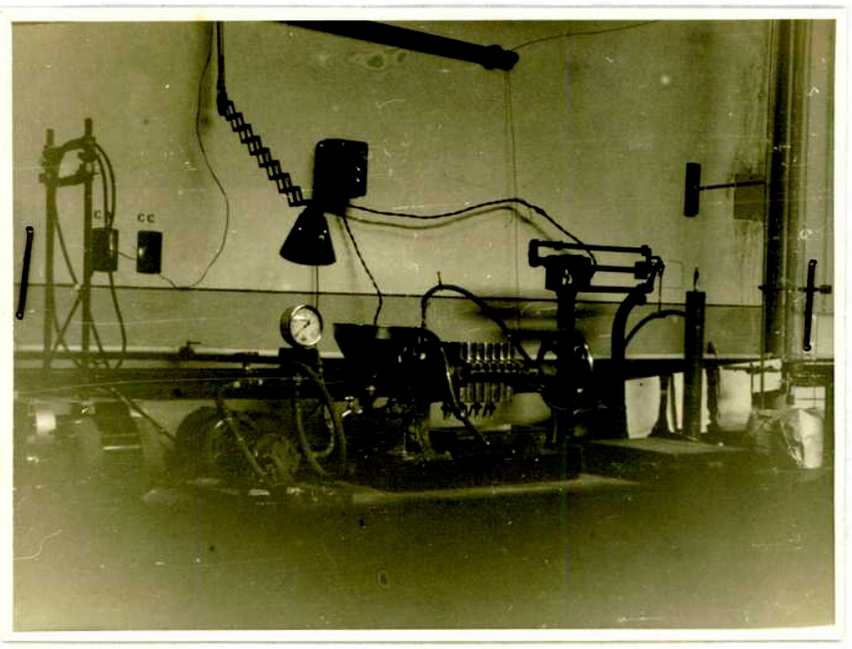
Constando este trabajo de experiencias realizadas con un filtro prensa, el utilizado en la realización de los trabajos prácticos correspondientes en el curso de Química Industrial (I), y con un porosimetro de Walas construído inicialmente de acuerdo al diseño original del autor y modificado luego para hacerlo más práctico, pasaremos a hacer una breve descripción de ambos aparatos, junto con sus complementos y detalles de armado.

Filtro prensa.

El filtro prensa empleado (fotografía 1) tiene tres marcos, y fué modificado con el agregado de los grifos correspondientes para tener seis caras filtrantes (originalmente tenía sólo cuatro). Cada marco tiene 12,5 cm x 12,5 cm de sección interior, con un espesor de 2,2 cm. La alimentación del barro se hizo mediante una bomba de engranajes, accionada por motor eléctrico de ¼ C.V.; esta bomba, que por una parte estaba conectada al filtro por conducciones en parte flexibles, y en las que se ubicó el manómetro de diafragma destinado a medir las presiones de trabajo, tenia también un retorno al tanque de mezcla y alimentación, el que incluía una válvula que permitía regular la presión de trabajo. Las conducciones flexibles se hicieron con el fin de evitar la transmisión de las vibraciones provocadas por el funcionamiento de la bomba al filtro prensa, con lo que se habría seguramente alterado la posible uniformidad de la torta en la altura del marco; al mismo tiempo, se facilitó el montaje y nivelación del equipo.

Debió prestarse, durante los ensayos con el filtro prensa, gran atención a las indicaciones del manómetro en la línea de alimentación, pues la regulación de la válvula de retorno presentaba algunos inconvenientes; cualquier obstrucción parcial provocaba un

FOTOGRAFIA 1.

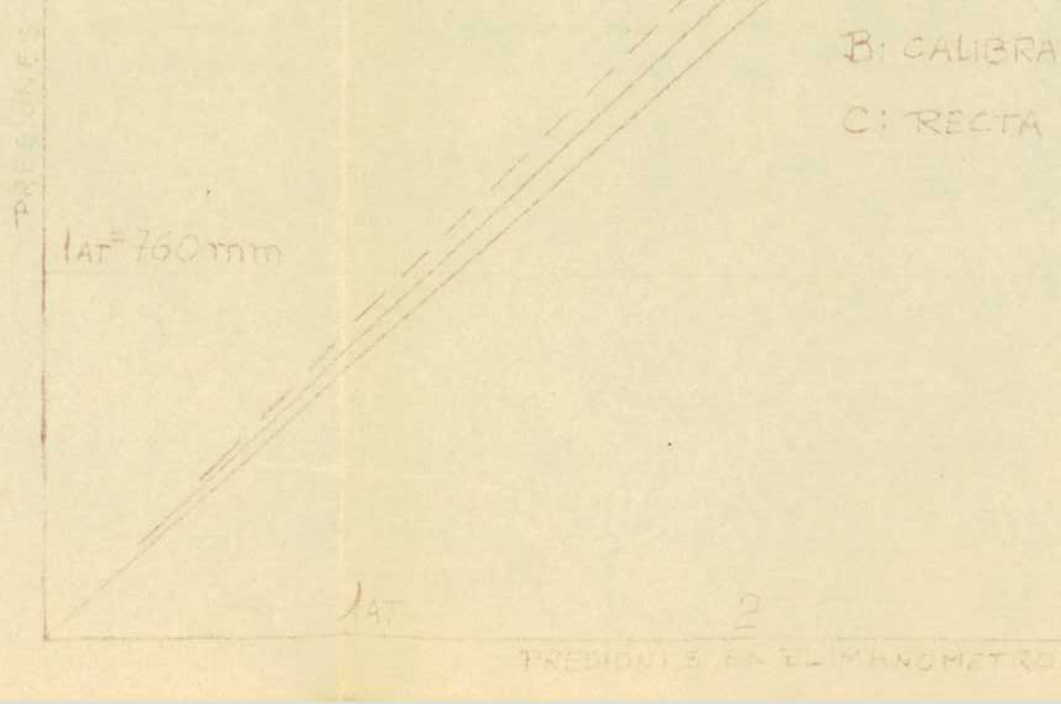


brusco aumento de la presión que obligaba a interrumpir la operación deteniendo la bomba. Se mejoró colocando una malla de alambre en la aspiración de la misma.

Para mantener la suspensión uniformemente repartida en el tanque de alimentación, donde la concentración debía mantenerse constante en todos los puntos del mismo y durante todo el tiempo que duraban los ensayos, se resolvió agitar el barro de carbonato de calcio, que fué el sólido elegido, mediante burbujeo de aire a presión; pero después de trabajar algún tiempo, comenzó a formarse en el tanque una gran cantidad de espuma que impedía la operación correcta del equipo. Se reemplazó entonces el burbujeo de aire por un agitador a hélice, de eje vertical, accionado por motor eléctrico; las partes metálicas expuestas a los efectos de la corrosión fueron protegidas por la aplicación de una pintura adecuada.

El manómetro que, ubicado en la línea de alimentación, nos daba la presión de trabajo, se contrastó con uno de mercurio, de vidrio semicapilar, de columna de 2 m. de altura, con cubeta en la base; una regla de 2 m, con una escuadra de aluminio en la base para tener el nivel del mercurio en la cubeta, nos daba la presión de línea cuando ésta se conectaba a la cubeta. La indicación correspondiente se comparaba con la del manómetro de línea. Contrastado éste hasta 2,5 at, la representación de las lecturas conduce a una línea recta, si bien no a 45 grados, como debía ser si el manómetro de línea fuera totalmente exacto; de todos modos, y dada la proporcionalidad existente, se trabajó con el manómetro citado, corrigiendo las lecturas con la recta A del gráfico 1, y extrapolando la calibración hasta 3,6 at.

Se ha vuelto a contrastar el manómetro al promediar los


B: CALIBRA
C: RECTA
1AT = 760 mm
1AT
2
PRESIONES EN EL MANOMETRO

trabajos, obteniendo la pequeña diferencia con la operación inicial que aparece como diferencia de ordenadas entre las curvas A y B del gráfico mencionado. Este nuevo contraste se hizo porque una obstrucción ocasional de la válvula de retorno produjo una elevación de presión por encima del máximo que indica el manómetro, operándose luego, y hasta el final de las experiencias, con la curva B.

El control de la balanza por pesadas de volúmenesconocidos de agua permitió constatar la exactitud de sus indicaciones.

Durante la operación del filtro, el filtrado y la torta obtenidos se volvían al tanque de alimentación, previo desmenuzado de ésta en aquel y tamizado por malla 50 para eliminar posibles impurezas; ésto se hacía para evitar posibles variaciones en la constancia de la composición del barro por trozos de torta apelmazados que pudieran quedar en el tanque alimentador, sin desleírse. El recipiente donde se desmenuzaba la torta en líquido filtrado se lavaba finalmente con ésta, vertiendo también esta porción al tanque, a través del tamiz de 50 mallas.

Porosímetro.

El primer aparato que construí fué copiado, con algunas pequeñas mofificaciones, del indicado por Walas en la descripción de su método (fig. 1). Consta de un tubo de bronce de 50 mm de diámetro por 400 de largo, con un pistón que puede ser accionado manualmente por manivela y tornillo; tiene en su extremo inferior un medio filtrante para soporte de la torta a formarse, que era, en el aparato original, una placa de porcelana porosa, y que en este caso reemplacé por un medio soporte formado por cuatro capas de malla de alambre, sobre las cuales iba la tela, y soportadas mecánicamente

por una chapa perforada, todo de bronce. El objeto de esta modificación es fundamentalmente disminuir la resistencia del soporte de torta todo lo posible, para quitarle importancia frente a la resistencia propia de ésta. Este conjunto se sujeta al aparato mediante dos bridas ajustables con mariposas, una solidaria al cilindro y otra a la chapa de bronce perforada.

Para llenar el porosímetro con el barro a ensayar, debe invertírsele, y una vez lleno, colocarle el medio de sostén y asegurarlo con las mariposas citadas; luego se lo vuelve a su posición de trabajo. Se empieza a hacer girar la manivela, tratando de mantener la presión constante en un valor prefijado, hasta que el caudal filtrado disminuye hasta un valor predeterminado muy pequeño.

En el aparato original de Walas, tal como aparece en el esquema de la fig. 1, el manómetro estaba ubicado a una cierta altura sobre el fondo del tubo; evidentemente, con esta disposición la duración del ensayo está limitada al instante en que el pistón en su descenso llega al nivel de la conexión manométrica, y no puede determinarse la presión final de filtración. Por otra parte, conectándolo bajo, o sea muy próximo a la tela, en cuanto se forma una torta de cierto espesor, ya el manómetro no mide la presión en el barro sobre la torta, sino la del líquido en una cierta zona dentro de la torta, que será tanto más diferente de la anterior cuanto mayor sea la presión de trabajo y el espesor de la torta. Además, esta última disposición trae el inconveniente de que, al sacar la torta, el líquido que hay en el conducto que va al manómetro, acumulado entre el cilindro y la válvula intercalada, vuelve y la humedece, falseando algo la determinación de la humedad de la torta a pesar de estar colocada la válvula lo más próxima posible al cilindro; por otra parte, la torta puede llenar el conducto de conexión

del manómetre, introduciendo otra causa de error en las determinaciones.

Tratamos, en primera instancia, de solucionar el problema colocando una varilla elástica, hecha con láminas de acero, en la manija, observando su deformación cuando a través de ella se accionaba el pistón del aparato y controlando, en una primera etapa del ensayo, (o sea hasta que el émbolo llegaba a tapar la conexión del manómetro) la presión constante del ensayo mediante el manómetro; en la segunda etapa, o sea que ya no se podía contar con las indicaciones de éste, se aceptaba la constancia de la deformación de la varilla como indicadora de la constancia de presión. Algunas irregularidades que se observaron en las pruebas, me indujeron a dejar de lado esta solución, por merecerme poca confianza.

La modificación definitiva introducida al porosímetro de Walas fué alimentarlo directamente desde la línea de alimentación del filtro prensa, mediante la bomba de engranajes, en la forma ya descripta anteriormente, y a través de un orificio practicado en el émbolo del pistón del aparato. (Fotografía 2). La presión se mantenía constante, como en los ensayos de filtro prensa, mediante la válvula ubicada en el retorno del barro al tanque de alimentación.

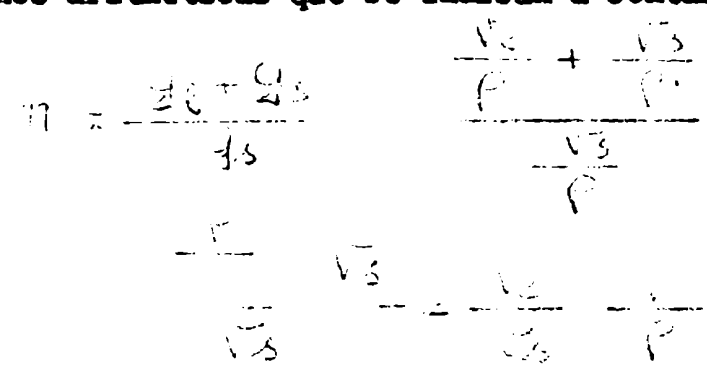
Si el espesor de la torta no influyera en su porosidad, no sería necesario poder variar su espesor para adaptarlo a las condiciones industriales del equipo, es decir, si se trata de un filtro prensa, al espesor de los marcos; pero si tal hipótesis no se cumple, será necesario poder variar dicho espesor, haciéndolo igual a la mitad del que se obtiene al final de la operación con un filtro prensa. Esta elección se basa en que en cada marco del filtro se van formando

FOTOGRAFIA 2.

dos tortas, una sobre cada una de las placas adyacentes, que recién se juntan al final de cada ciclo de filtración.

Para evitar la posible acción perturbadora en la porosidad de la torta de la cara del émbolo y de las paredes del cilindro del porosímetro, admitiendo una posible falta de uniformidad en la distribución de las partículas, se hizo algunos ensayos con torta más grande, de la cual se cortaba luego el espesor que interesaba. Para comparar ambas posibilidades de trabajo, se hicieron mediciones simultáneas derivando parte de la corriente de barro que alimenta al porosímetro, mediante una té de bronce, a otro cilindro de bronce (en realidad, un nuevo porosimetro de volumen constante) de 40 mm de diámetro por 11 de alto, mantenido entre dos placas, una de ellas con un orificio para entrada del barro, y la otra con perforaciones muy juntas, y una malla de alambre sobre la que apoya la tela. Esta disposición tiene por objeto evitar la influencia de los agujeros de la chapa perforada en la uniformidad del escurrimiento del filtrado a través de la tela.

Las tablas I y II dan los resultados de 12 ensayos hechos con una concentración de 9,77% de sólidos en el barro, y de 10 con 4,94%. Se ha variado en ellos la presión de trabajo entre 0,6 y 3,6 at, en la forma que indica la columna 2 de cada tabla, y donde la x indica de valores obtenidos con el porosimetro de volumen constante. La porosidad se calcula en base a la relación peso de torta húmeda-peso de torta seca, que hemos llamado m, y realizando las transformaciones aritméticas que se indican a continuación.



$c = 9{,}77\%$

1 ENSAYO Nº	2 P AT	3 CAP VACIA	4 CAP + RTA HUMEDA	5 + 1 SEC	6 $m = \frac{4 - c}{5}$	7 $\frac{1}{e}$	8 e
1	0,6 x	17,774	57,022	42,835	1,568	1,220	0,820
2	0,6	16,915	50,119	37,842	1,587	1,227	0,815
3	0,9 x	16,193	52,861	39,137	1,597	1,231	0,812
4	0,9	16,370	48,559	36,795	1,576	1,224	0,817
5	1,2 x	19,045	56,685	42,547	1,603	1,234	0,810
6	1,2	17,164	50,457	38,051	1,593	1,230	0,813
7	2,4 x	17,210	39,965	31,148	1,630	1,244	0,804
8	2,4	22,732	55,353	42,851	1,622	1,241	0,805
9	3,6 x	23,161	63,782	47,816	1,546	1,251	0,799
10	3,6	16,930	37,020	29,042	1,659	1,256	0,797
11	3,6 x	17,774	35,227	28,410	1,640	1,248	0,802
12	3,6	16,915	47,597	35,404	1,660	1,256	0,797

C = 4,94%

1 ENSAYO Nº	2 P AT	3 CAP VACIA	4 CAP + TIERRA HUMEDA	5 CAP + TIERRA SECA	6 $n_1 = \frac{4-3}{5-3}$	7 $\frac{1}{e}$	8 e
13	0,6	16,370	28,422	23,875	1,608	1,236	0,808
14	0,6 x	19,045	52,217	39,773	1,600	1,233	0,811
15	0,6 x	17,164	35,830	28,744	1,612	1,237	0,808
16	0,6	17,210	46,966	34,918	1,678	1,263	0,792
17	0,6	16,930	34,472	27,444	1,669	1,260	0,794
18	0,9	23,161	40,954	33,778	1,672	1,261	0,793
19	1,2	22,732	39,425	32,697	1,675	1,262	0,793
20	2,4	17,774	49,211	36,500	1,678	1,263	0,792
21	3,6 x	16,915	49,704	36,789	1,700	1,271	0,787
22	3,6	16,193	53,458	38,313	1,686	1,266	0,790

$$e = \frac{V_e}{V_e + V_s}$$

$$\frac{1}{e} = \frac{V_e + V_s}{V_e} = 1 + \frac{V_s}{V_e} \qquad (20)$$

y despejando $\frac{V_e}{V_s}$ de las (19) y (20) e igualando

$$\frac{V_e}{V_s} = (m-1)\frac{\rho}{\rho'} = \frac{1}{e} - 1$$

o sea finalmente

$$\frac{1}{e} = (m-1)\cdot\frac{\rho}{\rho'} + 1 \qquad (21)$$

que es la expresión que hemos empleado para el cálculo de la porosidad g.

La representación gráfica de los valores de g obtenidos como función de las presiones de trabajo conduce a las curvas de la figura 2, donde hay dos gráficos desplazados con ejes de presiones coincidentes; el superior dá la relación g-P para una concentración de sólidos en el barro de 9,77%, y el inferior para 4,94%. En cada uno de ellos, la línea llena representa ensayos con el porosímetro de Walas modificado, y la cortada, los realizados con el porosímetro de volumen constante.

Se observa que la porosidad depende tanto de la concentración de los sólidos en el barro como de la presión de trabajo; a mayor concentración de sólidos corresponden menores valores de la porosidad, y ésta es también, como es lógico, función decreciente con la presión. Las variaciones son relativamente pequeñas, y las conclusiones no pueden tomarse evidentemente como definitivas. Por otra parte, el carbonato de calcio forma una torta poco compresible, lo que obliga a trabajar con muchas cifras en las tablas I y II, y por lo

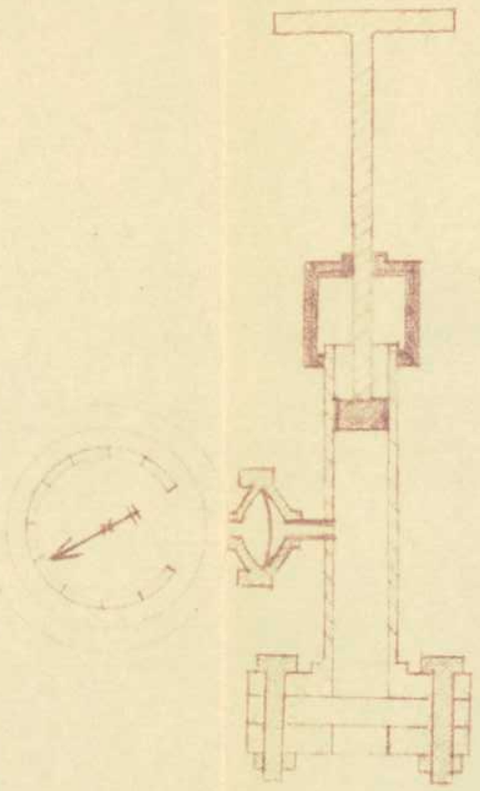
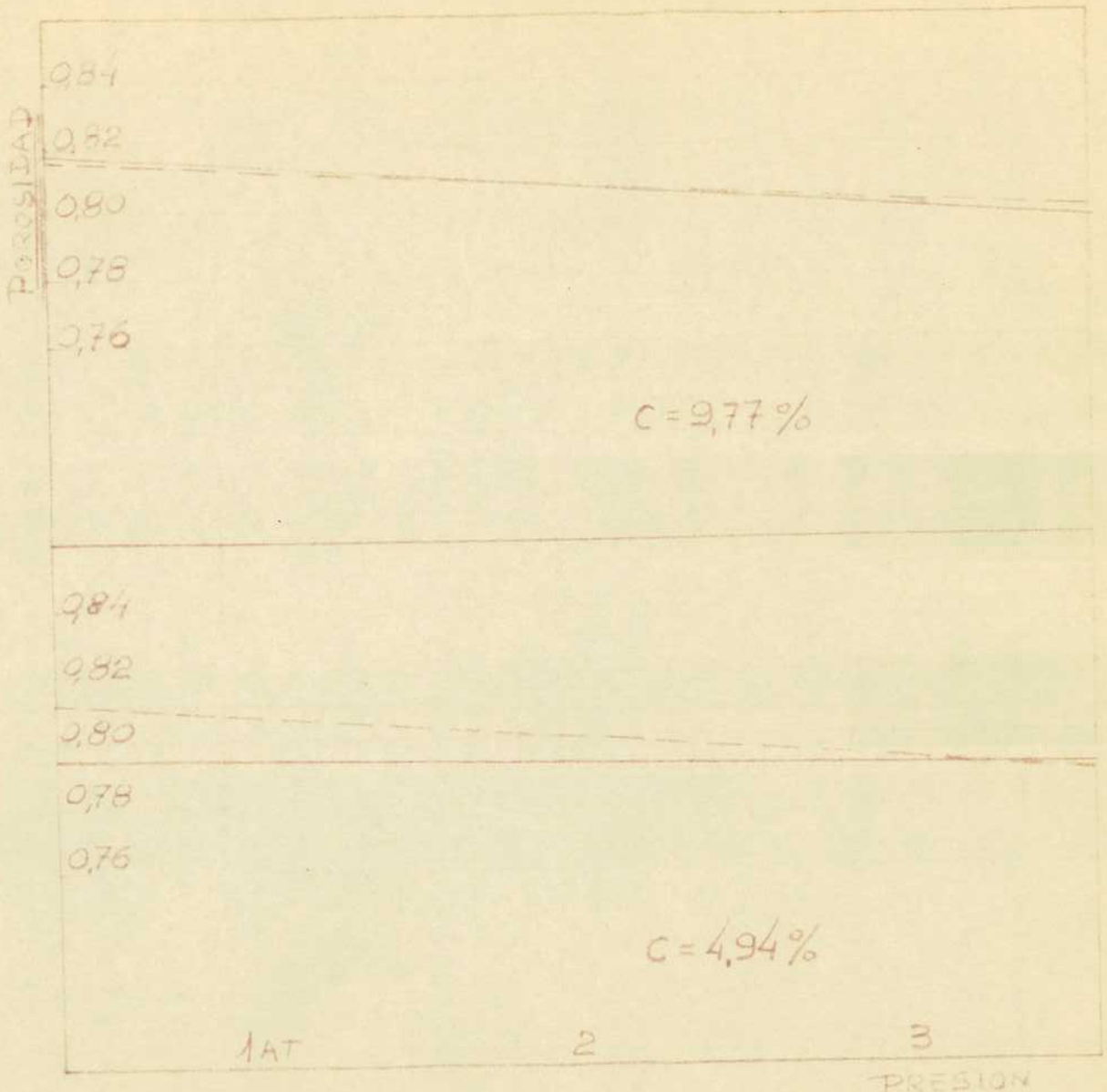


FIG. 1

POROSIMETRO DE WALAS



tanto a hacer cada vez más sensibles las determinaciones a posibles errores, por pequeños que sean, en las lecturas de presiones o de tiempos. Por otra parte, las pequeñas diferencias obtenidas con ambos porosímetros, no permiten sacar conclusiones con respecto a la posible influencia del émbolo móvil, en el de Walas modificado, sobre la porosidad de la torta.

Debemos hacer notar que las diferencias obtenidas tienen poca importancia frente a otras magnitudes que afectan la operación conjunta laboratorio-planta industrial. Consideramos una de las dificultades más importantes la determinación correcta de la superficie a través de la cual se filtra, pues si bien, en el porosímetro, se puede suponer que una tela que se apoya sobre una malla de alambre tipo mosquitero (lo que en la industria sería el caso típico de los filtros de bolsas) permite el paso de líquido a través de toda su superficie, en la mayoría de los casos, incluyendo fundamentalmente a los filtros prensa, la tela apoya sobre salientes de la superficie de la placa, las que reducen la superficie de la misma que puede considerarse como area filtrante. Esta circunstancia tendrá evidentemente considerable influencia mientras no se hagan los ensayos de laboratorio en condiciones más semejantes a las de planta; un procedimiento tendiente a reducir las diferencias podría consistir en dar a las salientes mencionadas, sobre las que apoya la tela, una característica definida por un coeficiente de reducción de area, que sería también función del espesor y textura de la tela; mediante ella podría aproximarse más los resultados de laboratorio a los de escala industrial.

Otra causa de diferencia podría ser la desigual distribución de partículas en la torta, motivada por la distinta forma de acceso del barro al porosímetro y a las placas del filtro prensa, y

complicada además por el hecho de que es mucho más fácil mantener la uniformidad en la distribución de los sólidos en el barro de alimentación en laboratorio o en planta piloto que en un equipo industrial.

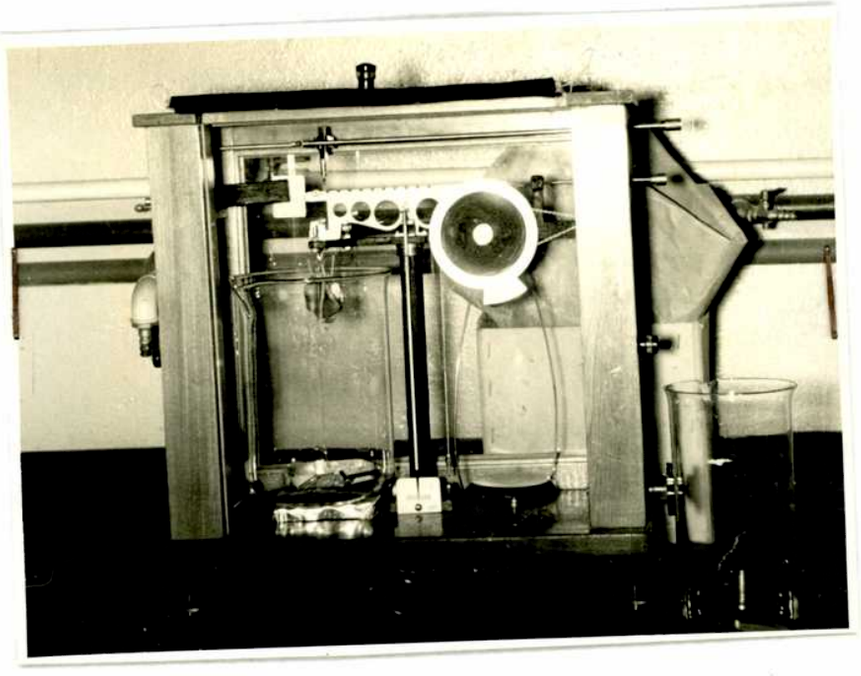
DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS

Se ha empleado el método de sedimentación de las partículas para la determinación de su tamaño, por ser el más aconsejado en el estudio de comportamiento de barros, utilizando la balanza y equipo auxiliar que aparecen en la fotografía 3.

Para la aplicación del método, es necesario hacer algunas determinaciones previas. Por de pronto, las densidades de líquido filtrado y de sólido en la suspensión, que intervienen en la ecuación de Stokes que da la velocidad de caída de pequeñas partículas en el seno de un fluído inmóvil; su determinación, hecha con picnómetro condujo a los valores 1 y 2,58 respectivamente. También se hizo determinaciones de la densidad de la suspensión en varios instantes, durante la sedimentación; estos últimos valores son importantes, además, porque al principio de la sedimentación el empuje sobre el platillo es mayor que al final; calculada la diferencia, resultó 0,02 gr. por lo que, para evitar las correcciones, se trata de que el volumen del platillo y soporte sean lo más pequeños posible.

Para ello ha construído el platillo de chapa muy fina estañada, y el soporte con hilo de acero. La altura definitiva del platillo se fijó en aproximadamente 15 mm; resultó necesario darle bordes tan altos porque cuando la suspensión pasa del período de sedimentación libre al de compresión, se comporta como un fluído más pesado, y desbordaría del platillo falseando los resultados si no estuvieran los bordes.

FOTOGRAFIA 3.



En cuanto a la viscosidad del líquido filtrado (agua), se determinó con un viscosímetro de Ostwald, obteniéndose los valores que aparecen a continuación, prácticamente coincidentes con los que dan las tablas:

$t = 14°C$	$\mu = 1{,}17$ c.p.
16	1,11
18	1,06

Para determinar el tamaño de las partículas por sedimentación, empecé utilizando un vaso de precipitado de 1 litro, pero el efecto de las paredes y del platillo, por su proximidad, perjudicaba la exactitud de las medidas; se cambió entonces el vaso anterior por uno de 2 litros, de igual altura, con lo que las dificultades desaparecieron.

Uno de los problemas que se presentó fué la necesidad de empezar las lecturas con la suspensión perfectamente homogénea: para lograrlo, en las primeras experiencias se vertía el barro desde un Erlenmeyer previamente agitado al vaso de precipitados de 1 litro, estando el platillo ya colocado dentro; empezaba las medidas de peso en función del tiempo lo más rápido posible. Posteriormente, al adoptar el vaso de 2 litros, agitaba la suspensión directamente en su interior; luego sumergía el platillo rápidamente, y empezaba en seguida las lecturas.

Considero que ninguno de los dos métodos es ideal, pues adolecen de las siguientes imperfecciones: la primera es que al principio debe existir un estado de movimiento en el seno del líquido, y la segunda es que no podemos precisar el origen de los tiempos. Para obviar esta dificultad práctica, se tomaba un origen de tiempos uno cualquiera, y, calculado el peso del platillo, que resultó ser 5,914gr.

se prolongó la curva correspondiente en tal forma que interceptara al eje de abscisas para dicho valor.

Hemos determinado el tamaño de las partículas en suspensión al principio y al final de las experiencias; en la primera determinación se obtuvo una distribución más amplia que en la segunda, no obstante haber usado el mismo sólido en todas las experiencias. Esta circunstancia puede ser debido a que este sólido fué sometido a desgaste mecánico, posiblemente en una pequeña parte en el agitador, y en gran parte en la bomba de engranajes, donde suponemos que está prácticamente sometido a algo muy parecido a una molienda por vía húmeda.

Para el cálculo del diámetro medio de las partículas en suspensión, que interviene en la fórmula (18) que nos dá la resistencia específica de la torta, se parte de la ecuación de Stokes, que da la velocidad de caída en régimen laminar:

$$v = \frac{L}{\theta} = \frac{g}{18\mu}(\rho' - \rho)d^2 \qquad (20)$$

Los gráficos de las figuras 3 y 4 dan los valores necesarios para los cálculos correspondientes, respectivamente para la suspensión al principio y al final de las experiencias, y han sido construídos con los valores experimentales, que aparecen en las columnas 1 y 2 de las tablas III y IV-, o sea pesos G' depositados en el platillo sumergido en función del tiempo θ , y con valores de cálculo $\frac{\Delta\theta}{\Delta G'}$, columna 6, también en función de θ .

Para obtener la distribución por tamaños de las partículas, que permitirá el cálculo del diámetro medio que aparece en la (18) se parte de la (20) escrita en la forma

$$\theta = \frac{18\mu L}{g} \cdot \frac{1}{(\rho' - \rho)d^2} \qquad (21)$$

TABLA III

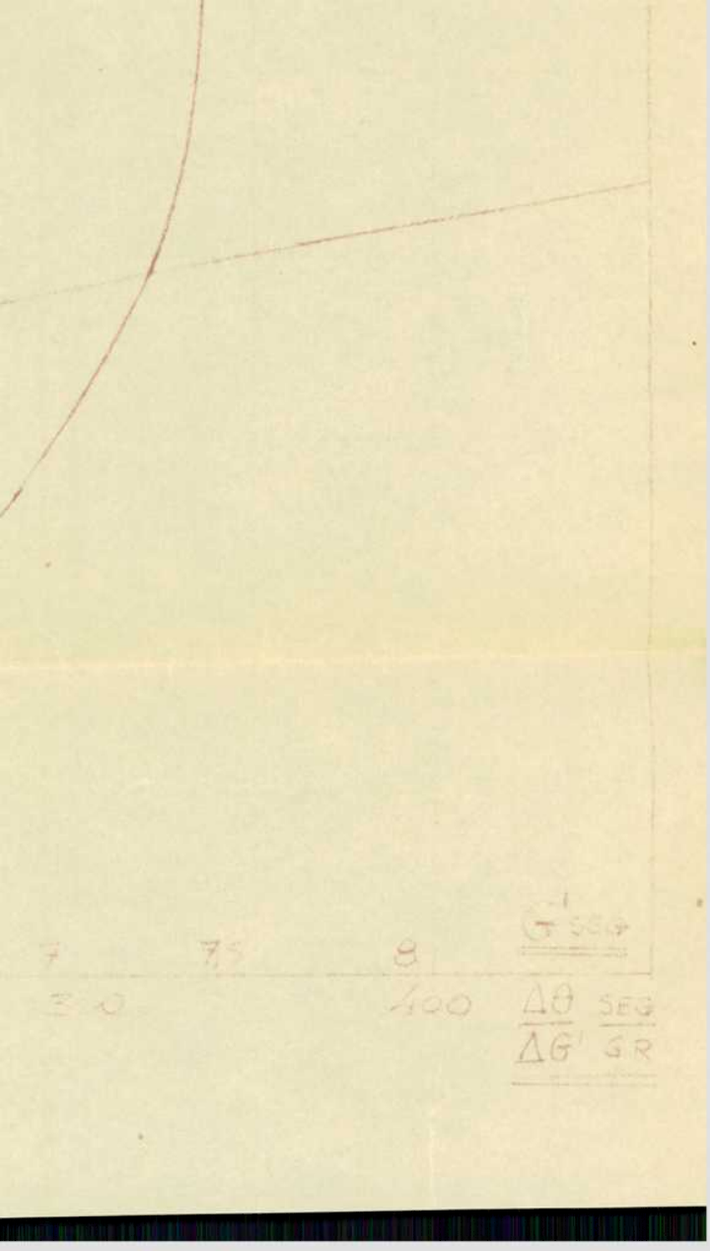
Sedimentación del carbonato de calcio al comienzo de los ensayos.

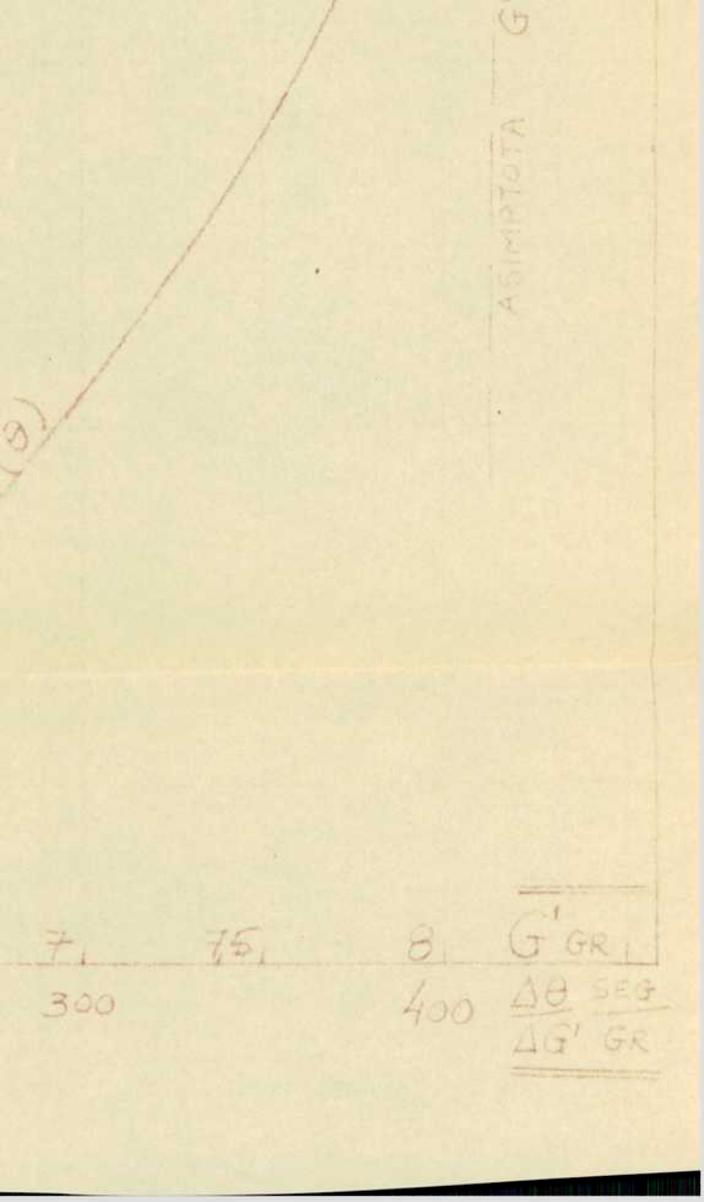
1 Θ seg	2 G' gr	3 Θ_m	4 $\Delta\Theta$	5 $\Delta G'$	6 $\frac{\Delta\Theta}{\Delta G'}$
30	5,948				
		37,5	15	0,100	150
45	6,048				
		51,5	13		130
58	148				
		63,5	11		110
69	248				
		73	8		80
77	348				
		81	8		80
85	448				
		90,5	11		110
96	548				
		101	10		100
106	648				
		111,5	11		110
117	748				
		122,5	11		110
128	848				
		134	12		120
140	948				
		148	16		160
156	7,048				
		165	18		180
174	148				
		188	28		280
202	248				
		239	74		740
276	348				
		393	234		2340
570	448				
		oo	oo		oo
oo	502				

TABLA IV

Sedimentación del carbonato de calcio al final de los ensayos.

θ seg	σ' g	θ_m	$\Delta\theta$	$\Delta\sigma'$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta\sigma'}$
30	6,0				
45	6,1	37,5	15	0,100	150
60	2	52,5	15		150
72	3	66	12		120
83	4	77,5	11		110
97	5	90	14		140
109	6	103	12		120
122	7	115,5	13		130
134	8	128	12		120
146	9	140	12		120
160	7,0	153	14		140
172	1	166	12		120
185	2	178,5	13		130
199	3	192	14		140
214	4	206,5	15		150
230	5	222	16		160
247	6	238,5	17		170
268	7	257,5	21		210
284	8	276	16		160
308	9	296	24		240
357	8,0	333,5	49		490
oo	8,148	oo	oo		oo


7
7,5
8
G' SEG
300
400
Δθ SEG
ΔG' GR


ASIMPTOTA
7
7,5
8
G' GR
300
400
Δθ SEG
ΔG' GR

en la que, reemplazando los valores correspondientes a nuestro caso particular

$$\mu = 1{,}10 \text{ cp (medio)}$$
$$L = 0{,}123 \text{ m}$$
$$\rho = 2{,}58$$

se obtiene una relación entre d y θ :

$$\theta = \frac{1{,}49}{d^2} \qquad (22)$$

que permite, fijando valores a d dentro de los extremos resultantes de una granulometría aproximada previa, llenar las 3 primeras columnas de la tabla V. Calculado así el tiempo de sedimentación para cada diámetro dado, se saca de las curvas de la figura 3 los valores de G' y $\frac{\Delta\theta}{\Delta G'}$ que aparecen en columna 4 y 6 de la tabla V, con cuyos valores se calcula el peso total G de partículas mayores que un cierto tamaño d con la expresión

$$G = G' \quad \theta \frac{\Delta G'}{\Delta \theta} \qquad (23)$$

cuyos valores se colocan en la columna 7. Finalmente, en la columna 8 se ubican los valores porcentuales de G.

La representación gráfica de estos últimos valores en función de la inversa de los correspondientes diámetros, tal como aparece en el gráfico 5, conduce, por integración, al valor del diámetro medio.

La operación indicada, realizada al iniciar las experiencias, se repite, como ya dije anteriormente, al final de las mismas, dando los valores correspondientes origen al gráfico 6. Los

TABLA V

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL SOLIDO

Al principio de las experiencias.

1	2	3	4	5	6	7	8
d	d^2	Θ	G_1	G'	$\frac{\Delta\Theta}{\Delta G'}$	G	G %
0,032	0,00102	141	6,90	0,99	140	0	0
0,030	0,00090	160	7,05	1,14	177	0,24	17
0,028	0,00078	185	7,15	1,24	268	0,55	38
0,026	0,00067	217	7,28	1,37	440	0,88	61
0,024	0,00057	253	7,34	1,43	oo	1,43	100

TABLA VI

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL SOLIDO

Al final de las experiencias.

d	d'	θ	G	G'	$\frac{\Delta\theta}{\Delta G'}$	G_{gr}	G %
0,028	0,00078	185	7,20	1,29	135	-	-
0,026	0,00067	217	7,42	1,51	154	0,10	5
0,024	0,00057	253	7,63	1,72	185	0,35	17
0,022	0,00048	300	7,86	1,95	275	0,86	41
0,020	0,00040	360	8,01	2,10	∞	2,10	100

38 40 $\frac{1}{d}$

$$\frac{100}{d_m} = \int G \, d\left(\frac{1}{d}\right)$$

$$d_m = \frac{100}{4470} = 0{,}022$$

$$d_m = \frac{100}{4670} = 0{,}021$$

dos últimos gráficos citados, donde también se ubicó las tablas de valores que permiten el trazado de las curvas G% = f (1/d) dan, como valores del diámetro medio de la suspensión, 0,022 y 0,021 mm, antes y después de las experiencias con el filtro prensa respectivamente.

El cálculo de la resistencia específica de la torta en función de la presión se realiza con el valor 0,021 del diámetro medio, pues los ensayos de porosidad fueron hechos después del trabajo con el filtro prensa. La aplicación de la (18) que da la resistencia específica de la torta en pies/libra, cuando se mide la densidad del sólido en libras/pie3 y el diámetro de los sólidos en suspensión en pies, conduce a los valores que aparecen, para la concentración en el barro de 9,77%, en la tabla VII, y en las unidades allí indicadas.

La verificación dimensional de la (18), llevada a la (10), conduce a

---

por ser

Esta dimensión es la correcta, pues verifica dimensionalmente a la (9). La fórmula se transforma en nuestro caso particular en

---

y siendo

queda finalmente

$$\alpha = 490 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \quad \left(\frac{m}{Kg}\right) \qquad (24)$$

que es la empleada para el cálculo de los valores de α que aparecen en la tabla VII ya mencionada para barro con 9,77% de sólidos, y en la tabla VIII para 4,94%.

La representación gráfica de la resistencia específica de torta en función de la presión conduce, para los dos casos mencionados, a las curvas A y B de la figura 7. En ellas se observa, como es lógico, un pequeño incremento de con la presión; la (17) parece transformarse en este caso en

$$\Delta P \qquad (25)$$

donde los valores de las constantes son, calculados a partir de la curva B de la figura 7, y cuando α se mide en m/Kg y P en at., los siguientes:

$$\alpha = \qquad P \qquad /+1$$

con lo que la (25) queda finalmente

(26)

Debemos destacar que la (26) es válida solamente para:

a) carbonato de calcio en suspensión;
b) diámetro medio de las partículas 0,021 mm
c) concentración de sólido en el barro 4,94%
d) presión de trabajo no mayor de 3,6 at.; es posible que a presiones mayores no sea $n = 1$ en la (27)
e) Valores de la porosidad iguales a los que aparecen en las tablas VII y VIII; influye en éstos no sólo el diámetro medio de las partículas sino también su distribución por tamaños.

TABLA VII

Resistencia específica de torta en función de la presión.

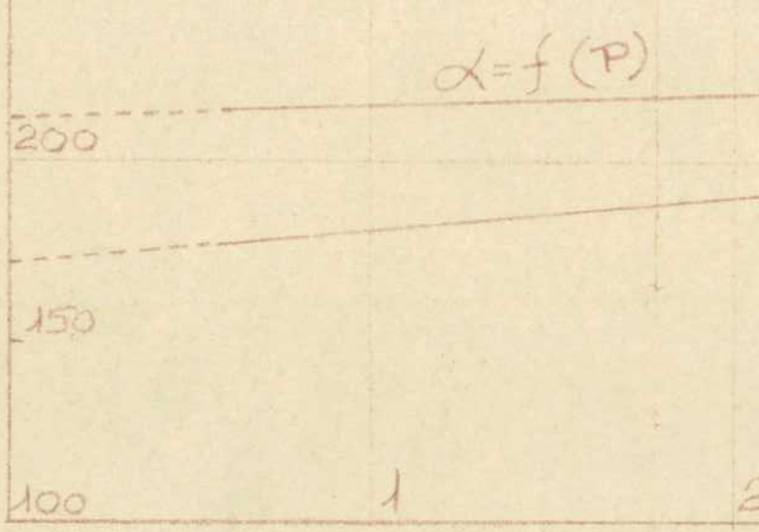
P AT	ϵ	$1-\epsilon$	ϵ^3	$\frac{1-\epsilon}{\epsilon^3}$	α
0,6	0,820	0,180	0,551	0,327	170
0,6	0,815	0,185	541	342	177
0,9	812	188	535	352	183
0,9	817	183	545	336	174
1,2	810	190	531	358	185
1,2	813	187	537	348	180
2,4	804	196	520	377	195
2,4	805	195	522	374	194
3,6	799	201	510	394	204
3,6	797	203	506	401	208
3,6	802	198	516	383	199
3,6	797	203	506	401	208

TABLA VIII

Resistencia específica de la torta en función de la presión.

c = 4,94%

0,6	0,808	0,192	0,528	0,364	188
0,6	811	189	535	353	183
0,6	808	192	528	364	188
0,6	792	208	498	417	215
0,6	794	206	500	412	213
0,9	793	207	499	419	217
1,2	793	207	499	419	217
2,4	792	208	498	418	216
3,6	787	213	489	436	226
3,6	790	210	491	428	222


α=f (P)
200
150
100
1

ENSAYOS CON EL FILTRO PRENSA

Los ensayos con el filtro prensa, ya descriptos al principio de este informe, fueron hechos con presiones entre 0,6 y 3,6 at. y con concentraciones de 4,94 9,77 y 11,1%. Anotándose, durante las experiencias, tiempos y pesos de filtrado, las tablas IX a XXXI inclusive dan los valores de $\frac{\Delta\theta}{\Delta W} = f(W)$ que permiten la representación gráfica de la ecuación (12); ella ha sido hecha en las figuras 8 y 9, para las distintas concentraciones de barro que en ellas se indica, y para presiones entre 0,6 y 3,6 at., dando lugar a las rectas trazadas.

La pendiente de estas rectas da el valor

$$\frac{2}{K'} = \frac{d\theta}{dW} \Big/ W = tg\,\beta \left(seg/kg^2\right)$$

donde β es el ángulo que cada una de las rectas forma con la horizontal.

La figura 8, correspondiente a un barro con 4,94 % de sólidos, muestra las distintas rectas obtenidas en ensayos a diversas presiones de trabajo, siendo cada una de ellas la de compensación obtenida partiendo de la representación gráfica de por lo menos dos ensayos: con 0,6 at., ensayos 31 y 32 (tablas XXV y XXVI); con 0,9 at., ensayos 24 y 30 (tablas XIX y XXIV); con 1,2 at., ensayos 25 y 28 (tablas XX y XXII); con 2,4 at. ensayos 26 y 29 (tablas XXVII, XXVIII y XXIX).

En la figura 9 aparece en el gráfico de la parte superior, las rectas obtenidas trabajando con un barro con 11,1 % de sólidos en suspensión, para 0,6 at., ensayos 8, 13 y 15 (tablas X, XIV y XV); para 0,9 at. ensayos 16, 17 y 18 (tablas IX y XII), y para 2,4 at. ensayos 9 y 12 (tablas XI y XIII). En la parte

inferior de la figura 9 he representado la recta de compensación para los dos ensayos, 36 y 37 (tablas XXX y XXXI), realizados con barro de 9,77 % de tenor de sólidos, a 3,6 at.

He desechado los resultados de los 6 primeros ensayos por corresponder en realidad al período de puesta a punto del equipo, durante el cual se presentaron los inconvenientes ya mencionados al principio de este informe; oscilaciones en la aguja del manómetro, dificultad con la válvula de retorno para mantener constante la presión, incertidumbre en la homogeneidad de la suspensión, espuma, etc.

Se dejó también de lado los ensayos con 0,3 at. como sobrepresión de trabajo, tales como los 11 y 14, por obtenerse valores numéricos dispares por la gran influencia que tenía en los resultados las oscilaciones en la presión de trabajo. Finalmente, tampoco se tuvo en cuenta algunos ensayos que condujeron a valores visiblemente absurdos, tales como por ejemplo los obtenidos cuando se produjo la obstrucción en la conexión del manómetro.

La forma y disposición de las rectas obtenidas aparece como perfectamente lógica, y verifica las hipótesis hechas por Ruth y sus colaboradores, y por lo tanto su teoría.

TABLA IX (Ensayo No. 7)

P = 0,9 at **t = 16°C** **C = 11,1%**

W kg	ΔW kg	θ seg	Δθ seg	Δθ/ΔW
0,5	0,5	16	16	32
1	0,5	25	9	18
1,5	0,5	32	7	14
2	0,5	41	9	18
2,5	0,5	53	12	24
3	0,5	64	11	22
3,5	0,5	76	12	24
4	0,5	94	18	36
4,5	0,5	111	17	34
5	0,5	130	19	38
6	1,-	174	44	44
6,5	0,5	200	26	52
7	0,5	230	30	60

TABLA X. (Ensayo 8)

P = 0,6 at t = 17°C C = 11,1%

W Kg	ΔW	θ seg	Δθ	Δθ/ΔW
0,5	0,5	22	22	44
1		35	13	26
1,5		50	15	30
2		67	17	34
2,5		90	23	46
3		115	25	50
3,5		143	28	56
4		170	27	54
4,5		205	35	70
5		250	45	90
5,5		288	38	76
6		332	44	88
6,5		382	50	100

TABLA XI (Ensaye 9)

P = 2,4 at t = 17°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	ΔW	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	23	23	23
2		32	9	9
3		45	13	13
4		63	18	18
5		84	21	21
6		108	24	24
7		136	28	28

TABLA XII (Ensayo 10)

P = 0,9 at t = 17°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	Δθ	Δθ/ΔW
0,5	0,5	15	15	30
1		23	8	16
1,5		32	9	18
2		44	12	24
2,5		53	9	18
3		66	13	26
3,5		82	16	32
4		98	16	32
4,5		117	19	38
5		139	22	44
5,5		160	21	42
6		184	24	48
6,5		209	25	50

TABLA XXXI (Ensayo 12)

P = 2,4 at **t = 15°C** **C = 11,1%**

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	23	23	23
2		33	10	10
3		48	15	15
4		68	20	20
5		90	22	22
6		117	27	27
7		150	33	33

TABLA XIV. (Ensayo 13)

P = 0,6 AT t = 15°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	$\Delta \theta$	$\frac{\Delta \theta}{\Delta W}$
0,5	0,5	21	21	42
1		35	14	28
1,5		52	17	34
2		70	18	36
2,5		93	23	46
3		120	27	54
3,5		149	29	58
4		183	34	68
4,5		220	37	74
5		259	39	78
5,5		303	44	88
6		349	46	92
6,5		409	60	120

TABLA XV. (Ensayo 15)

P = 0,6 AT t = 15°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
0,5	0,5	31	31	62
1		51	20	40
1,5		69	18	36
2		82	13	26
2,5		110	28	56
3		130	20	40
3,5		158	28	56
4		189	31	62
4,5		222	33	66
5		255	33	66
5,5		299	44	88
6		343	44	88
6,5		391	48	96
7		472	81	162

TABLA XVI. (Ensayo 16)

P = 1,2 AT t = 16°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
0,5	0,5	13	13	26
1		22	9	18
1,5		36	14	28
2		48	12	24
2,5		63	15	30
3		82	19	38
3,5		103	21	42
4		124	21	42
4,5		148	24	48
5		177	29	58
5,5		206	29	58
6		239	33	66
6,5		272	33	66
7		346	74	144

TABLA XVII. (Ensayo 17)

P = 1,2 AT t = 16°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
0,5	0,5	13	13	26
1		24	11	22
1,5		35	11	22
2		48	13	26
2,5		63	15	30
3		81	18	36
3,5		101	20	40
4		125	24	48
4,5		151	26	52
5		179	28	56
5,5		208	29	58
6		234	26	52
6,5		276	42	84
7		319	43	86

TABLA XVIII. (Ensayo 18)

P = 1,2 AT t = 16,5°C C = 11,1%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
0,5	0,5	15	15	30
1		24	9	18
1,5		33	9	18
2		50	17	34
2,5		67	17	34
3		85	18	36
3,5		106	21	42
4		131	25	50
4,5		156	25	50
5		185	29	58
5,5		217	32	64
6		252	35	70
6,5		292	40	80

TABLA XIX. (Ensayo 24)

P = 1,2 at t = 15°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	23	23	23
2		41	18	18
3		64	23	23
4		86	22	22
5		126	40	40
6		166	40	40
7		209	43	43
8		259	50	50
9		315	56	56
10		374	59	59
11		439	65	65
12		509	70	70
13		584	75	75
14		667	83	83
15		755	88	88

TABLA XX. (Ensayo 25)

P = 1,2 at t = 16°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	15	15	15
2		32	17	17
3		51	19	19
4		73	22	22
5		98	25	25
6		130	32	32
7		164	34	34
8		201	37	37
9		245	44	44
10		287	42	42
11		341	54	54
12		396	55	55
13		457	61	61
14		519	62	62
15		587	68	68
16		662	75	75
17		827	165	165

TABLA XXI. (Ensayo 26)

P = 2,4 at t = 16°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	20	20	20
2		29	9	9
3		39	10	10
4		52	13	13
5		68	16	16
6		83	15	15
7		103	20	20
8		124	21	21
9		149	25	25
10		175	26	26
11		203	28	28
12		237	34	34
13		270	33	33
14		305	35	35
15		340	35	35
16		384	44	44
17		429	45	45

TABLA XXII. (Ensayo 28)

P = 1,2 at t = 14°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	Δθ	Δθ/ΔW
1	1	21	21	21
2		36	15	15
3		54	18	18
4		75	21	21
5		104	29	29
6		134	30	30
7		170	36	36
8		209	39	39
9		254	45	45
10		300	46	46
11		353	53	53
12		408	55	55
13		470	62	62
14		535	65	65
15		604	69	69

TABLA XXIII. (Ensaye 29)

P = 2.4 at t = 15°C S = 4.94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
	1		20	20
1		20	9	9
2		29	12	12
3		41	12	12
4		53	15	15
5		68	14	14
6		82	24	24
7		106	25	25
8		131	25	25
9		156	27	27
10		183	29	29
11		212	36	36
12		248	41	41
13		289	30	30
14		319	42	42
15		361	43	43
16		404		

TABLA XXIV. (Ensayo 30)

P = 1,2 ΔT t = 16°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	Δθ	Δθ/ΔW
	1		19	19
1		19	26	26
2		45	24	24
3		69	30	30
4		99	35	35
5		134	37	37
6		171	53	53
7		224	49	49
8		273	57	57
9		330	65	65
10		395	67	67
11		462	75	75
12		537	81	81
13		618	86	86
14		704	93	93
15		797		

TABLA XXV. (Ensayo 31)

P = 0,6 AT t = 16°C C = 4,94%

n	w	θ	Δθ/Δw
	1	0	
1		30	30
2		58	28
3		93	35
4		138	45
5		188	50
6		249	61
7		315	66
8		393	78
9		478	85
10		571	93
11		670	99
12		783	113
13		903	120
14		1035	132
15		1186	151

TABLA XXVI. (Ensayo 32)

P = 0,6 AT t = 14°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
	1			
1		25	25	25
2		45	20	20
3		63	18	18
4		108	45	45
5		143	35	35
6		180	37	37
7		219	39	39
8		260	41	41
9		305	45	45
10		363	58	58
11		425	62	62
12		500	75	75
13		585	85	85
14		670	85	85
15		760	90	90

TABLA XXVII. (Ensayo 33)

P = 3,6 AT t = 15°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	Δθ	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
	1			
1		19	19	19
2		29	10	10
3		37	8	8
4		50	13	13
5		61	11	11
6		75	14	14
7		89	14	14
8		107	18	18
9		126	19	19
10		147	21	21
11		170	23	23
12		194	24	24
13		220	26	26
14		243	23	23
15		273	30	30
16		308	35	35
17		344	36	36
18		377	33	33
19		415	38	38
20		455	40	40

TABLA XXVIII. (Ensayo 34)

P = 3,6 AT t = 15°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta \theta$	$\frac{\Delta \theta}{\Delta W}$
1	1	21	21	21
2		30	9	9
3		38	8	8
4		51	13	13
5		63	12	12
6		77	14	14
7		94	17	17
8		113	19	19
9		135	22	22
10		158	23	23
11		183	25	25
12		209	27	27
13		238	29	29
14		271	33	33
15		304	33	33
16		341	37	37
17		377	36	36

TABLA XXIX. (Ensayo 35)

P = 3,6 AT t = 16°C C = 4,94%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
5	1	73	-	
6		88	15	15
7		103	15	15
8		123	20	20
9		145	22	22
10		167	22	22
11		193	26	26
12		221	28	28
13		250	29	29
14		282	32	32
15		313	31	31
16		350	37	37
17		387	37	37
18		427	40	40

TABLA XXX. (Ensayo 36)

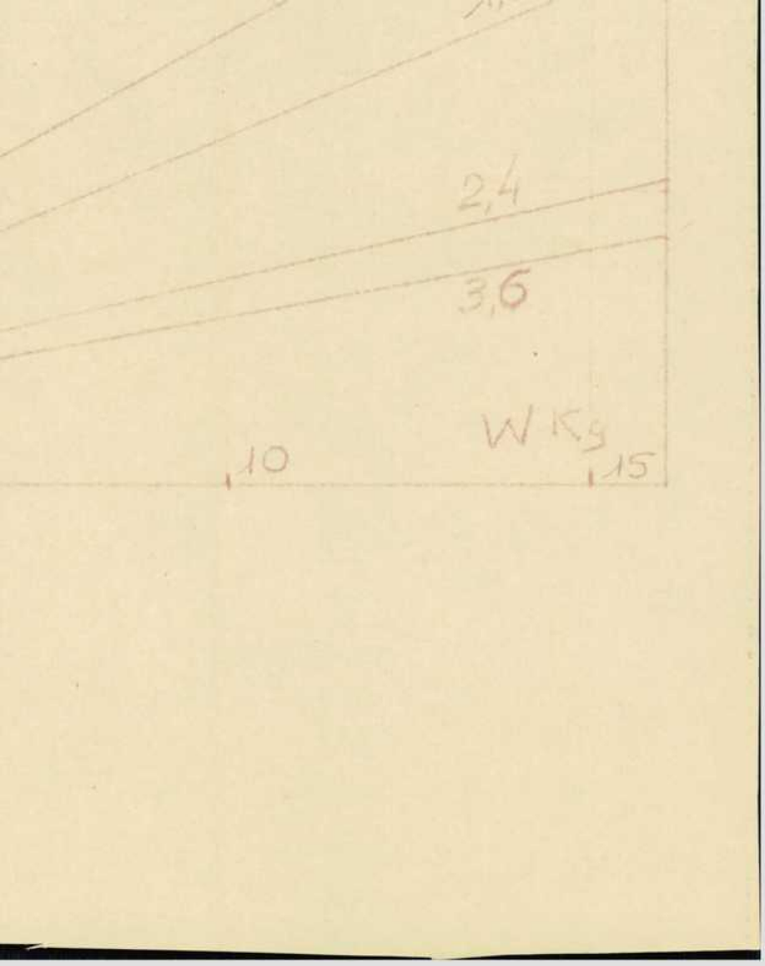
P = 3,6 AT t = 19°C C = 9,77%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
1	1	23	23	23
2		-	-	-
3		48	-	-
4		68	20	20
5		92	24	24
6		119	27	27
7		151	32	32
8		186	35	35
9		230	44	44

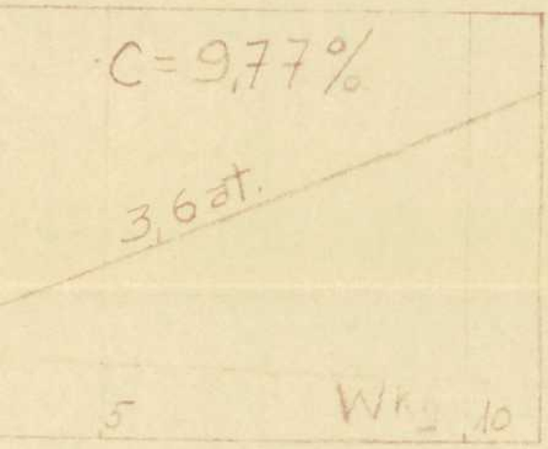
TABLA XXXI. (Ensayo 37)

P = 3,6 AT t = 19°C C = 9,77%

W	ΔW	θ	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta W}$
	1		21	21
1		21		
			11	11
2		32		
			13	13
3		45		
			18	18
4		63		
			22	22
5		85		
			27	27
6		112		
			32	32
7		144		
			33	33
8		177		
			40	40
9		217		


2,4
3,6
10
W Kg
15

2,4
10
W kg
15


C = 9,77 %
3,6 at.
5
W kg
10

POSIBILIDAD DE MEJORAR ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO EN ESCALA INDUSTRIAL.

Teniendo en cuenta que para determinar el funcionamiento de un filtro en escala industrial es necesario hacer mediciones con un porosímetro, determinaciones de tamaño de partículas, etc., vemos que el problema no es de resolución tan fácil, sino que al contrario exige bastante manipuleo o instrumentos relativamente complicados. Si en vez de conectar nuestro porosímetro sobre la instalación ya efectuada de tanque con agitación y manómetro con by-pass, debiéramos hacerlo en forma completamente independiente, nos veríamos obligados a construir un pequeño tanque que aguante la presión, que tenga agitación mecánica y en el cual mantendríamos la presión constante mediante llegada de aire comprimido y una válvula automática por ejemplo que controle la presión. Asimismo, necesitaríamos un manómetro de control, un termómetro para conocer la temperatura del líquido que influye en su viscosidad, y probablemente debido a la agitación mecánica y para mantener la temperatura en un valor constante, una camisa de agua, ya que el volumen de suspensión tiene poca inercia térmica. Este puede conectarse mediante un conducto con un pistón fijo sobre el cual puede moverse el cilindro con su tela filtrante en una extremidad. Pero como podrá observarse, este dispositivo es complicado. Cabe preguntarse por qué no hacer un sistema para medir filtración a presión constante en escala reducida, sistema en el cual el aparato nos da un gráfico sin necesidad de controlarlo. Evidentemente el primer gráfico que nos podría dar el aparato sería la parabola de la ecuación integra de Ruth. Uno de los problemas es justamente la automatización para medir volúmenes o peso de filtrado en cantidades tan pequeñas. Si medimos pesos podemos contar con

un sistema dinamométrico del cual sea solidaria una pluma que inscriba sobre un papel arrollado alrededor de un tambor giratorio. Cabe destacar la posibilidad de medir también, sea volúmenes o sea pesos de un líquido, en base a la conductividad de la solución que resulta cuando este líquido cae en un volumen conocido de una solución cuya conductividad se conoce. Así por ejemplo el líquido filtrado que se puede suponer agua, podría gotear en una solución de cloruro de sodio en agua, y en base al gráfico conductividad-tiempo que obtenemos, podemos construir la curva volumen filtrado versus tiempo, o hacer que el aparato la construya directamente. El hecho de recurrir a esta refinación se debe a que los volúmenes de líquido podrían ser pequeños y por lo tanto los aparatos que deberían registrarlos en forma de pesada deberían ser de manejo frágil y delicado. Si se encara el problema desde ese punto de vista, podemos fácilmente esperar que un aparato que no ocupa más espacio que una bandeja, entregue curvas de ensayos hechos a presión constante, reproduciendo el funcionamiento de un filtro en gran escala.

Cabe recordar nuevamente que la relación área total a área verdadera del filtro prensa industrial deberá efectuarse en este mismo filtro prensa o deducirse por semejanza con otras unidades análogas.

Cabe hacer notar que en el aparato anterior la unión estanca entre pistón y cilindro móvil no he podido conseguirla mediante un cuero, sino mediante una goma que introduje entre dos segmentos del pistón que he apretado uno contra otro recién cuando estaban dentro del cilindro.

NOMENCLATURA

V	Volumen filtrado
θ	Tiempo
ΔP	Diferencia de presión entre ambas caras del manto filtrante - pérdida de carga a través del mismo - fuerza impulsora que produce la filtración
R	Resistencia a la filtración
S	Superficie a través de la cual se filtra
L	Espesor del lecho poroso, o manto filtrante
μ	Viscosidad del líquido filtrado
K'	Constante de proporcionalidad en la (3)
C_1 C_2	Constantes en las (4) y (5)
α	Resistencia específica de la torta
β	Resistencia específica del sostén
	Peso de torta
	Constante de propercionalidad en la (9)
m	Peso de torta húmeda/id. de torta seca
G_s, s	Peso de sólidos en el barro/id. de barro
	Densidad del filtrado
ρ'	Densidad del sólido en suspensión
	Constante de proporcionalidad en la (12)
S'	Peso de sólido en el barro/id. de líquido
W	Peso de líquido filtrado
V_c	Constante de volumen en la (2)

NOMENCLATURA (Cont.)

	Constante de tiempo en la (2)
	Peso del líquido en el barro/kg. de barro
	Peso de sólidos en la torta húmeda
	Peso del líquido en la torta húmeda
	Porosidad de la torta
	Diámetro medio de las partículas en suspensión
	Volumen específico del líquido
	Volumen específico del sólido
	Altura de caída de las partículas en el ensayo de sedimentación
	Masa depositada en el platillo sumergido
	Dimensión fuerza
	Dimensión masa
	Dimensión tiempo
	Dimensión longitud