

UNIVERSIDAD DE VALENCIA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA TECNICA

FILTRADO A PRESION  
DE PASTAS CERAMICAS

AURORA SECO TORRECILLAS

VA

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
Biblioteca

BRE 1980



80001604935

UMI Number: U603108

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U603108

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.  
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against  
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC  
789 East Eisenhower Parkway  
P.O. Box 1346  
Ann Arbor, MI 48106-1346



ANTONIO AUCEJO PEREZ, AGREGADO NUMERARIO Y DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA TECNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA,

CERTIFICO: Que la licenciada en Ciencias Químicas Dña. M<sup>a</sup>. AURO RA SECO TORRECILLAS, ha realizado bajo mi dirección, en el laboratorio del Departamento de Química Técnica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Valencia, el trabajo que, bajo el título: "FILTRADO A PRESION DE PASTAS CERAMICAS", presenta en esta Memoria que constituye su tesis para optar al grado de Doctora en Ciencias Químicas.

Y para que conste a los efectos oportunos, en cumplimiento de la legislación vigente, presento y apadrino ante la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Valencia, la referida tesis, firmando el presente certificado en Valencia a uno de Septiembre de mil novecientos ochenta.



Antonio Aucejo Pérez  
Director del Departamento  
de Química Técnica.

## RECONOCIMIENTO

La presente investigación se realizó en el laboratorio del Departamento de Química Técnica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Valencia, bajo la dirección del Profesor Dr. Antonio Aucejo Pérez, en quien siempre encontré el estímulo y la ayuda que posibilitaron mi labor y a quien expreso mi más sincero agradecimiento.

Así mismo quiero agradecer al Dr. Agustin Escardino Benlloch, Catedrático numerario de éste Departamento, el apoyo prestado durante la realización de esta tesis.

Deseo destacar la ayuda recibida de Pastas Cerámicas Diez, S.L. de Manises, mediante el suministro de las pastas utilizadas en este trabajo.

Finalmente quiero expresar mi reconocimiento a todos mis compañeros de laboratorio, en especial al Dr. Enrique Navarro, por su desinteresada ayuda en cuantas ocasiones fue necesaria.

## I N D I C E

	<u>Páginas</u>
1. RESUMEN .....	1
2. INTRODUCCION .....	4
2.1. Generalidades .....	4
2.1.2. Evolución de la industria cerámi ca a nivel nacional .....	6
2.1.2. Evolución de la industria cerámica a nivel del País Valenciano ...	8
2.1.3. Situación actual y perspectivas futuras de la industria cerámica	10
2.1.4. Materias primas en la industria cerámica .....	12
2.2. Filtración industrial de las pastas cerá micas .....	14
2.2.1. Clasificación de la filtración..	14
2.2.2. Equipo para filtración .....	17
2.2.1. Filtros de presión ....	17
2.2.2. Filtros de vacío .....	23
2.2.3. Medios de filtración .....	25
2.2.4. Coadyuvantes de filtración ....	27
2.3. Teoría de la filtración .....	29
2.3.1. Balance de presión .....	29
2.3.2. Compresibilidad de los sólidos..	30
2.3.3. Resistencia específica de la tor ta .....	32
2.3.4. Ecuación general de la filtración	37

Páginas

2.3.4.1.	Filtración a presión cons <u>tan</u> tante .....	39
2.3.4.2.	Filtración a velocidad cons <u>tan</u> tante .....	40
2.3.4.3.	Filtración a velocidad cons <u>tan</u> tante seguida de filtra- ción a presión constante.	41
2.4.	Tests de filtración a presión constante ...	41
2.5.	Objeto y alcance de la presente investiga- ción .....	43
3.	APARATO .....	45
3.1.	Filtro de vacío .....	45
3.2.	Filtro de presión .....	45
4.	MATERIALES Y PROCEDIMIENTO .....	50
4.1.	Materiales .....	50
4.1.1.	Barbotina feldespática I .....	50
4.1.2.	Barbotina feldespática II .....	51
4.1.3.	Barbotina porcelana .....	51
4.1.4.	Barbotina calcárea .....	52
4.1.5.	Tela filtrante .....	53
4.2.	Procedimiento .....	53
4.2.1.	Preparación de las barbotinas ....	53
4.2.2.	Filtración a presión de una barboti <u>n</u> na .....	54
4.2.3.	Determinación de la granulometría..	56

	<u>Páginas</u>
5. RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	57
5.1. Experimentos previos .....	57
5.1.1. Filtro de vacío .....	57
5.1.2. Filtro de presión .....	65
5.2. Resultados obtenidos para la barbotina fèl despática II .....	89
5.3. Resultados obtenidos para la barbotina por celana .....	146
5.4. Resultados obtenidos para la barbotina cal cárea .....	199
6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS .....	248
6.1. Estudio experimental de la filtración ....	248
6.2. Discusión de los experimentos previos ...	250
6.2.1. Filtro de vacío .....	250
6.2.2. Filtro de presión .....	254
6.2.2.1. Influencia del volumen inicial de barbotina ...	254
6.2.2.2. Influencia de la concen- tración inicial de sólidos .....	258
6.2.2.3. Influencia de la presión de filtrado .....	258
6.2.2.4. Influencia de la granulo metría .....	266
6.2.3. Conclusiones .....	266

Páginas

6.3. Discusión de los resultados obtenidos con las diferentes barbotinas .....	268
6.3.1. Influencia de la presión .....	268
6.3.1.1. Efecto sobre la resistencia específica de la torta .....	268
i) Barbotina feldespática II .....	268
ii) Barbotina porcelana .....	276
iii) Barbotina calcárea .....	287
6.3.1.2. Efecto sobre la porosidad de la torta .....	302
i) Barbotina feldespática II .....	303
ii) Barbotina porcelana .....	304
iii) Barbotina calcárea .....	308
6.3.2. Influencia de la granulometría...	312
6.3.2.1. Efecto sobre la resistencia específica de la torta .....	319
i) Barbotina feldespática II .....	320
ii) Barbotina porcelana .....	322
iii) Barbotina calcárea .....	324

	<u>Páginas</u>
6.3.3.2. Efecto sobre la porosidad de la torta .....	326
i) Barbotina feldespática II .....	327
ii) Barbotina porcelana .....	329
iii) Barbotina calcárea .....	331
6.4. Obtención de las ecuaciones representativas del proceso .....	332
6.5. Comparación entre los resultados experimentales y los calculados a partir de las ecuaciones propuestas .....	335
6.6. Aplicación de los filtros prensa industriales de las ecuaciones obtenidas ....	336
6.6.1. Mecanismo del proceso de filtración a presión en la industria ..	337
6.6.2. Semejanza y diferencias de los procesos de filtración a presión industrial y de laboratorio ....	340
6.6.3. Utilidad de las ecuaciones deducidas para la predicción del comportamiento de las barbotinas en los filtros prensa industriales.	342

	<u>Páginas</u>
7. CONCLUSIONES .....	347
8. APENDICE .....	350
8.1. Aparatos. Detalles y accesorios .....	350
8.1.1. Filtro de vacio .....	350
8.1.1.1. Medida del volumen fil- trado .....	350
8.1.1.2. Agitación de la barboti- na .....	350
8.1.1.3. Medida de la presión ...	351
8.1.1.4. Características de la bomba de vacio .....	351
8.1.1.5. Medida de la humedad de la torta .....	351
8.1.2. Filtro de presión .....	352
8.1.2.1. Aparato .....	352
8.1.2.2. Llenado del aparato ...	354
8.1.2.3. Medida del volumen de filtrado .....	354
8.1.2.4. Medida de la humedad de la torta .....	355
8.1.3. Accesorios .....	355
8.2. Ejemplo de cálculo de un experimento ....	356
8.3. Programas de cálculo utilizados .....	364
8.3.1. Ajuste por mínimos cuadrados de la recta $t/V$ frente a $V$ .....	364
8.3.2. Ajuste por mínimos cuadrados a una función lineal multiparamétrica ..	366

	<u>Páginas</u>
8.3.3. Cálculo del error relativo de los resultados teóricos frente a los experimentales .....	370
8.4. Comparación de los resultados experimentales y los calculados con las ecuaciones (6-15) a (6-20) .....	374
8.5. Localización de los datos experimentales..	374
NOMENCLATURA .....	397
BIBLIOGRAFIA .....	400

## 1. RESUMEN.

En esta memoria se informa acerca de los resultados obtenidos al estudiar la filtración de pastas cerámicas o barbotinas.

Se ha hecho una revisión bibliográfica completa sobre este tema y otros afines.

Se ha diseñado un aparato y montado una instalación asociada a él, en la que se podía controlar fácilmente las variables de operación y permitía conocer en cada instante el valor del volumen filtrado.

Se tomaron como parámetros definidores del proceso de filtración la resistencia específica y la porosidad de la torta obtenida.

Para la determinación de las variables que influían en el proceso se realizaron una serie de experimentos previos en los que se mantuvieron constantes todas las variables excepto la estudiada. Estas variables fueron, volumen inicial de barbotina introducida en el aparato, concentración inicial de sólidos, presión y granulometría, para una barbotina dada, comprobándose que las únicas variables que influían en el proceso eran la presión y la granulometría.

Para el estudio de la influencia de la presión sobre la resistencia específica y porosidad de la torta se realizaron una serie de, como mínimo, cuatro experimentos para cada barbotina y granulometría. Para cada serie se ha obtenido una ecuación de tipo potencial que relaciona la resistencia específica con la presión, y otra exponencial que relaciona la porosidad con la presión.

Se estudiaron un total de tres barbotinas, realizando siete series a granulometrías diferentes, obtenidas por molienda.

El estudio de la influencia de la granulometría se hizo correlacionando los coeficientes de las ecuaciones obtenidas, para la resistencia y porosidad, en cada serie.

Se han definido dos parámetros para la cuantificación de la influencia de la granulometría que son:

- A : porcentaje de partículas menores que  $15 \mu\text{m}$ .
- B : relación entre el diámetro correspondiente al 80% y el correspondiente al 40%, en una representación granulométrica acumulada.



En cada barbotina se obtuvo una ecuación para la resistencia específica y otra para la porosidad que relacionan dichas variables con los dos parámetros granulométricos indicados y con la presión.

Por último se ha comprobado la utilidad práctica de estas ecuaciones y la reproducibilidad de los datos experimentales.

## 2. INTRODUCCION

### 2.1. GENERALIDADES.

La industria cerámica española cuenta con una tradición muy antigua y que tiene un reconocido prestigio en los mercados exteriores.

Dada la gran variedad de artículos producidos y dependiendo de los aspectos a resaltar en cada caso, se han dado muchas clasificaciones diferentes. De entre ellas se ha seleccionado la que viene recogida en la tabla 2.1., hecha desde una perspectiva estrictamente económica, pero que permite delimitar los sectores de interés para el presente estudio.

Con arreglo a esta tabla los productos en cuyo proceso de fabricación interviene el filtrado a presión son los englobados dentro de loza y porcelana para usos domésticos y loza y porcelana artística, y de ahora en adelante los datos que se citan se referirán específicamente a estos sectores.

TABLA 2.1.

Clasificación por sectores de los productos cerámicos tradicionales.

1. Loza y porcelana.

a) Usos domésticos:

- Loza ordinaria
- Loza fina
- Porcelana

b) Artística:

- Loza ordinaria
- Loza fina
- Porcelana

c) Sanitaria:

- Loza
- Porcelana

d) Usos industriales:

- Loza
- Porcelana

2. Azulejos.

- a) Azulejos comunes
- b) Azulejos artísticos
- c) Piezas especiales
- d) Paramentos
- e) Bizcocho

3. Materiales refractarios y gres.

- a) Refractarios
- b) Gres:
  - Sanitario y doméstico
  - Industrial
  - Mosaicos

4. Materiales de construcción de tierras cocidas y alfarería.

- a) Alfarería
- b) Ladrillos
- c) Tejas
- d) Baldosas
- e) Bovedillas

2.1.1. Evolución de la industria cerámica a nivel nacional.

La evolución del sector cerámico, principalmente en loza, porcelana y azulejos ha sido muy favorable a partir de 1960 contribuyendo a ello por una parte, la fuerte expansión operada en la industria de la construcción y por otra un aumento muy

acusado en las ventas al exterior. Esto no significa que el sector cerámico haya alcanzado una dimensión estructural adecuada, pues la atomización empresarial sigue siendo una nota característica de estas actividades lo que motiva una producción muy baja con relación a la conseguida por otros países europeos.

Los efectos de la crisis económica a raíz de 1974, se han dejado sentir con más fuerza en aquellas actividades que están estrechamente vinculadas al sector de la construcción. Con todo, en líneas generales, se puede decir que gracias a la expansión en las exportaciones se ha paliado la contracción de la demanda interior, con lo cual la actividad se ha mantenido a un nivel aceptable en estos últimos años.

El valor de la producción para la fabricación de loza y porcelana pasó de 2.769 millones de pesetas en 1970 a 7.265 millones en 1976 y a 10.898 millones en 1977. (Piñeiro, 1979).

Desde la óptica del comercio exterior la evolución habida en los últimos años hay que calificarla de muy positiva en cuanto a productos cerámicos en general, con una balanza favorable para España, que en 1978 se saldó con un superávit del orden de los 4.500 millones de pesetas. En los últimos diez años con exportaciones españolas de cerámica artística se han multiplicado por 16, en términos monetarios de pesetas corrientes (Rico y col., 1973).

De cara al futuro las posibilidades de expansión de estas industrias son importantes, si bien es preciso acentuar el proceso de reestructuración, para aproximarlas al nivel alcanzado por las correspondientes de otros países europeos, que compiten duramente con España.

#### 2.1.2. Evolución de la industria cerámica a nivel del País Valenciano.

Existe una fuerte concentración de la producción cerámica artística en Valencia, especialmente en el municipio de Manises, donde ya en 1917 se fundó una escuela de Cerámica.

Además de en Manises existen también productores en Quart de Poblet, Riaralbes y Onda, Tabernes Blanques, etc. Una idea de la importancia que sobre el total español tiene la producción valenciana se desprende del hecho de que las exportaciones del País Valenciano representasen en 1977 el 88 por 100 del total exportado por el sector loza y porcelana artística, tal como queda reflejado en la tabla 2.2.

También a nivel del País se notan los mismos defectos estructurales que ya se han indicado con carácter general y así el predominio de las empresas pequeñas incluso de carácter artesanal, es casi absoluto, excepción hecha de un reducido número de empresas de tamaño mayor.

TABLA 2.2.

## Exportaciones de loza y porcelana artísticas

(Millones de pesetas)

	A	B	B/A
	España	P. Valenciano	(%)
1975	651	598	92
1976	859	714	83
1977	1.152	1.012	88

Fuentes: Dirección General de Aduanas: "Estadísticas de Comercio Exterior".

Cámaras de Comercio del País Valenciano: "La Región Exporta".

De forma aproximada puede estimarse la distribución por tamaños de empresa que se indica en la tabla 2.3.

Es inusual la existencia de empresas con varias plantas y también en términos generales, no se dispone de una red de ventas propia.

TABLA 2.3.

## Tamaño de las empresas cerámicas del País Valenciano

<u>nº trabajadores</u>	<u>% empresas</u>
0 - 15	85
15 - 50	12
50	3

La mano de obra es el componente de más peso dentro de la estructura de costes del sector, lo cual resulta coherente con el carácter artesanal que predomina entre las empresas productoras de cerámica artística.

2.1.3. Situación actual y perspectivas futuras de la industria cerámica.

Una de las notas características de la industria cerámica es la utilización de técnicas muy diversas, lo cual está en relación con los tipos y variedades, tanto de "preparación" como de "acabado" a que pueden someterse los productos obtenidos. Esto, unido a la atomización empresarial anteriormente expuesta, lleva a una producción media baja; de todo esto se deduce la necesidad de una reestructuración general de esta industria.

Centrándose en aspectos mucho más concretos se puede afirmar que entre las dificultades que conciernen a todo el sector cerámico la inseguridad, tanto en el suministro de materias primas de calidad como de combustibles adecuados y exentos de elementos nocivos, son dos aspectos fundamentales muy a tener en cuenta dada la repercusión que tienen en el acabado del producto resultante.

En el caso del País Valenciano no puede hablarse propiamente de que existan dificultades importantes en el abastecimiento de materias primas, teniendo en cuenta que la localización de las empresas viene a coincidir básicamente con los yacimientos más ricos de caolines, arcillas, etc. y en general de las materias primas más utilizadas en la fabricación de cerámica artística.

En cualquier caso el montaje de factorías apropiadas, dedicadas exclusivamente a la confección de pastas para la industria cerámica con el necesario grado de garantía en los distintos tipos y variedades que precisa este sector, reporta ventajas de todo tipo al permitir, mediante una producción a gran escala, disponer de instalaciones adecuadas con molinos, filtros prensas, tamices y otros aparatos, que de no ser una planta dedicada en forma íntegra a la obtención de este tipo de materias, pasarían la mayor parte del día inactivas, con la consiguiente merma de rentabilidad que esto lleva consigo.

El presente trabajo se centra en el estudio de la filtración a presión, operación básica ampliamente utilizada por estas factorías para la preparación de pastas cerámicas. La importancia de esta industria auxiliar queda reflejada en las 16.000 toneladas producidas en el año 1979, en el País, tanto para consumo interior como exterior.

#### 2.1.4. Materias primas en la industria cerámica.

Hasta no hace demasiados años el control de las materias primas, la preparación de las pastas y su posterior cocción se hacía sin el empleo de ningún tipo de control estandarizado. Cuando el artesano antiguo notaba cambios en sus materias primas sabía como hacer los oportunos ajustes en sus pastas para obtener los mismos resultados. Las máquinas actualmente utilizadas son incapaces de hacer ajustes, precisando trabajar en condiciones perfectamente conocidas. Por ello los ensayos previos para el control de la producción y de las materias primas se han hecho fundamentales.

Las industrias de porcelanas, lozas, azulejos, etc. denominadas de Cerámica Blanca, utilizan una gran variedad de materias primas, la mayoría de las cuales pueden encontrarse en España. Concretamente son de origen totalmente nacional las arcillas rojas, caolines, cuarzo, carbonato cálcico y talcos. Por

el contrario se importan cantidades determinadas, no demasiado importantes de arcillas blancas de Gran Bretaña y Francia, de feldespatos de Francia y Sudáfrica y cantidades menores de esmaltes originales de Francia y Alemania.

En la preparación de una pasta intervienen dos factores, la composición y la molienda. En la bibliografía existen trabajos dando valores orientativos de estos dos parámetros (Espinoza, 1979) dependientes del uso al que se destine la pasta. Puede afirmarse que las más utilizadas corresponden a una loza máyolica calcárea y a una porcelana blanda.

Las pastas son suministradas por la fábrica productora bien como barbotina, en contenedores o bidones, o bien como tortas de filtro-prensa.

En el coste de la pasta filtro prensada tiene una gran influencia la propia operación de filtrado. De ahí el interés de aquellos trabajos cuya finalidad sea un mayor conocimiento de las relaciones que ligan las distintas variables que intervienen en la filtración como paso previo a cualquier estudio que pretenda aumentar la eficacia del proceso.

## 2.2. FILTRACION INDUSTRIAL DE LAS PASTAS CERAMICAS.

La filtración es la operación básica que consiste en la separación de sólidos del fluido en el que están suspendidos, haciendolo pasar a través de un medio poroso que retiene el sólido. La mezcla sólido-líquido a separar se denomina "suspensión alimento", el fluido que atraviesa la membrana "filtrado" y la membrana que retiene el sólido "medio filtrante". Cuando el sólido que se separa se acumula, en tal cantidad, que cubre el medio filtrante se va formando un depósito a través del cual tienen que pasar las sucesivas cantidades de filtrado y que se denomina "torta".

Otros métodos para la separación de los sólidos de una suspensión son la sedimentación y la centrifugación.

En general la filtración es el método más utilizado en la industria cerámica al resultar más económico que la centrifugación y más rápido que la sedimentación.

### 2.2.1. Clasificación de la filtración.

En la bibliografía pueden localizarse varias clasificaciones de la filtración, dependiendo del parámetro elegido para diferenciarlas.

Así se encuentra:

a) Atendiendo a la fuerza impulsora que provoca la filtración el líquido puede ser forzado a atravesar el medio filtrante por:

- gravedad
- aplicación de una sobrepresión antes del medio filtrante.
- aplicación de una presión inferior a la atmosférica después del medio.
- una fuerza centrífuga a través del medio filtrante.

b) Atendiendo al mecanismo de la filtración. Aunque el mecanismo por el que los sólidos se detienen y acumulan no está unánimemente aceptado, hay dos modelos distintos de los procesos de filtración que son consistentes con la mayor parte de los datos que se poseen:

- Filtración superficial en la cual los sólidos filtrados son detenidos sobre la superficie y se apilan unos sobre otros para formar una torta de tamaño creciente, dando lugar a las ecuaciones de filtración a través de una torta.
- Filtración en profundidad en la que los sólidos son atrapados en los poros o en el interior del medio, dando lugar a las ecuaciones denominadas de filtración del medio filtrante.

El primero de estos mecanismos se produce cuando la concentración de sólidos en la suspensión alimento es grande, mientras que el segundo es característico de suspensiones con contenidos en sólido muy bajos; por tanto es evidente que será el primer mecanismo el que se da con mayor frecuencia en la industria cerámica donde fácilmente se suele partir de suspensiones con un 40% o más de sólidos.

c) De acuerdo con su función. El fin que se persigue puede ser:

- secar unos sólidos (caso de las pastas cerámicas)
- clarificar un líquido
- obtener simultáneamente una torta y un líquido clarificado.

El primero de ellos es el más común dentro de la industria objeto de este trabajo.

d) Atendiendo al ciclo de operación, los filtros pueden actuar

- en continuo
- intermitentemente. Estos a su vez pueden operarse a presión o a caudal constante.



e) Por último, de acuerdo con la naturaleza de los sólidos, la filtración con formación de torta puede provocar una acumulación de sólidos que sean compresibles o incompresibles, que corresponde aproximadamente en el caso de la filtración en el medio filtrante a la de partículas deformables o rígidas.

Estas clasificaciones como se observa, no son mutuamente excluyentes.

#### 2.2.2. Equipos para la filtración.

Como se ha indicado en el párrafo anterior el equipo para la filtración puede clasificarse según el tipo de fuerza impulsora utilizada en filtros por gravedad, a presión o a vacío. A continuación se exponen con detalle los dos últimos tipos que son los más utilizados en el filtrado de pastas cerámicas.

##### 2.2.2.1. Filtros de presión.

Este tipo de filtros pueden operar con una gran diferencia de presión a través del medio filtrante permitiendo separaciones que de otra forma serían excesivamente lentas o incluso imposibles. Por otro lado al ser muy compactos presentan una gran área de filtración por unidad de área de piso ocupado y ofrecen mayor flexibilidad de operación que cualquier otro

tipo, a un precio relativamente bajo.

Durante mucho tiempo han sido únicamente aparatos intermitentes, dada la dificultad de la descarga de la torta desde un compartimento a presión. Entre los filtros a presión intermitentes destaca el filtro prensa de placas y marcos que es probablemente el más barato y el que necesita menos espacio. En 1963 Brociner ya establece los criterios para la standarización de estos filtros indicando el orden de magnitud de las características con que se define un filtro standard, es decir, área de filtrado, número de platos, tipo de tela filtrante, etc.

Existe una gran variedad de estos filtros; el más sencillo tiene un único conducto para introducir la pasta y el agua de lavado y una simple abertura en cada placa para la eliminación de líquido. Se denominan de desagüe abierto.

El filtro prensa comunmente utilizado en la industria contiene una serie de placas diseñadas para formar cámaras, o compartimentos, en los cuales pueden recogerse los sólidos. Las placas están recubiertas con un medio filtrante tal como lona, nylon, etc. La suspensión entra a presión en cada compartimento, pasando el filtrado a través de la tela y dejando - atrás una pasta húmeda de sólidos.

Las placas de un filtro prensa pueden ser cuadradas o circulares y estar situadas vertical u horizontalmente. En algunos diseños los compartimentos para sólidos están formados por rebajes en las caras de las placas (figura 2.1). Sin embargo más comunmente dichos compartimentos están constituidos por el espacio que queda entre dos placas y un marco adyacente (figura 2.2) colocados alternativamente en un canal metólico. Las caras de las placas se recubren con tela y todo el conjunto se mantiene cerrado por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. El líquido pasa a través de la tela, desciende por canales o rugosidades practicados en las caras de las placas y finalmente sale del filtro.

El camino recorrido por el filtrado se esquematiza en las figuras 2.1. y 2.2.

Una vez montado el filtro prensa la suspensión se introduce mediante una bomba a una presión de 3 a 12 kg/cm<sup>2</sup>, aunque para casos especiales puede llegar a valores mucho más altos. Se continua la filtración hasta que no salga líquido por la descarga o hasta que la presión de filtración se eleve repentinamente. Una vez concluida la filtración se abre la prensa y se retira la torta que se lleva a un transportador o a una tolva de almacenamiento. Actualmente estas operaciones se pueden realizar automáticamente. Skotnica y col. (1975) describen un método para la descarga automática de estos filtros.

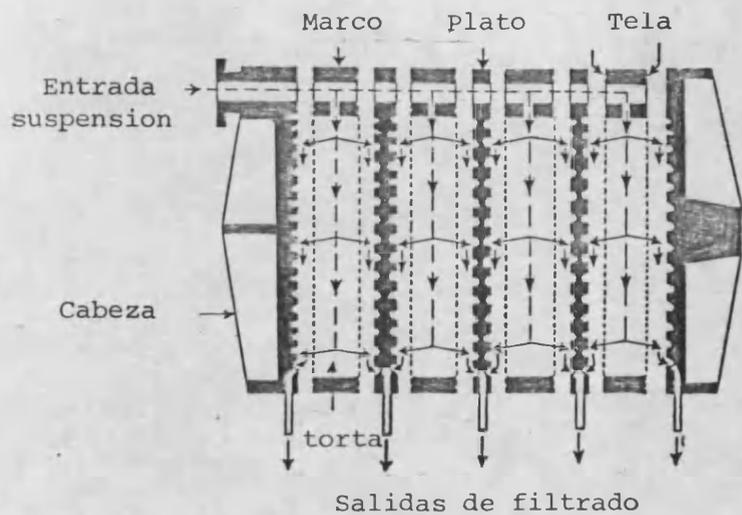


FIG. 2.1. FILTRO PRENSA DE PLATOS Y MARCOS

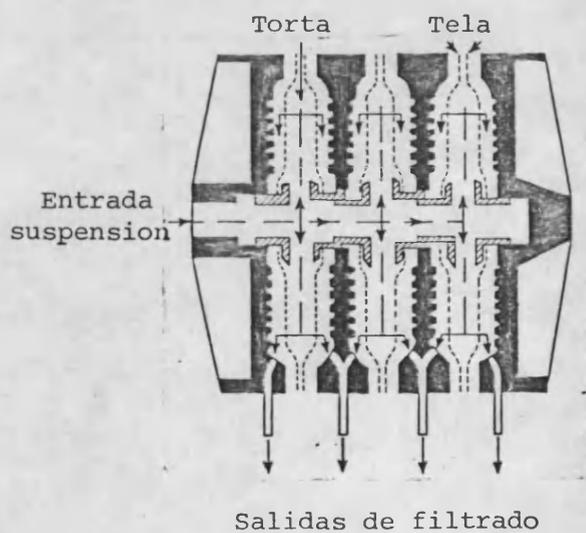


FIG. 2.2. FILTRO PRENSA DE PLATOS REBAJADOS

Por otra parte Rüb (1968) recoge las técnicas para la automatización de antiguos filtros prensa.

En la bibliografía se encuentra un gran número de autores (Haecker (1973), Von Niessen y Schunda; Ermakov y Meshengisser, Kolfman (1974) y Haver, Loeffler, Heimbach y Shotten, Scharsig, Ramsteck (1975)) que indican normas de construcción para mejorar la seguridad y facilidad de manejo de estos aparatos.

A fin de ampliar el rango de aplicación de una prensa determinada y de disminuir el tiempo de operación, aparecen los filtros prensa de compartimento variable. Con ello se consiguen tortas más secas y más manejables, ya que después de concluido el proceso normal de filtración tiene lugar una compresión mecánica de la torta. Un tipo de prensa de compartimento variable es el filtro prensa de membrana, (Edmondson y Brooks 1977), que utiliza los llamados platos de membrana alternando con los normales. Estas membranas forman unas cavidades entre cada dos platos, que pueden ser hinchadas con aire a presión comprimiendo de este modo las tortas adyacentes. Cassel e Iwata (1976) describen el funcionamiento en un filtro de este tipo a escala piloto.

Basados en el mismo mecanismo, pero con forma cilíndrica (pared exterior fija, pared interior flexible) los filtros tubulares ya descritos en 1972 por Gwilliam están alcanzando

actualmente una gran difusión ya que representan un gran ahorro de energía al aplicar la fuerza directamente sobre la torta, en lugar de impulsar la suspensión. Además requieren un menor tiempo de operación. Este filtro prensa tubular, fabricado por English Clays Lorering Pochin and Co. Ltd. ha sido específicamente para trabajar con barbotinas cerámicas y para ciclos de operación cortos (3 a 4 min.). La filtración puede ser detenida a cualquier espesor de torta.

Otro tipo de filtros a presión discontinuos muy utilizados cuando se desea filtrar a presiones superiores a las que son posibles en el filtro prensa de placas y marcos lo constituye los filtros de hojas y carcasa. Consisten en un conjunto de hojas suspendidas vertical u horizontalmente sobre un soporte retráctil, situadas dentro de un tanque cerrado. La suspensión alimento entra por un costado del tanque y el filtrado pasa por las hojas hasta un distribuidor múltiple de descarga. Este tipo de filtros se usa ampliamente para filtraciones que emplean coadyuvantes de filtración.

Por último, y también dentro de los filtros discontinuos de presión cabe nombrar los filtros de cartuchos usados principalmente para separar pequeñas cantidades de sólidos de un fluido. Una descripción detallada de estos filtros se puede encontrar en cualquier texto básico, como por ejemplo McCabe y Smith (1969)

Durante mucho tiempo, los filtros de presión han sido únicamente aparatos intermitentes. En la actualidad existen - filtros de presión continuos pero la dificultad de la descarga de la torta desde un compartimento a presión y la desventaja de su inaccesibilidad limitan aún su uso. Uno de los más utilizados es el filtro espesador de presión, cuyo objeto es separar parte del líquido contenido en una suspensión diluida para obtener otra concentrada (McCabe y Smith, 1969).

#### 2.2.2.2. Filtros de vacío.

Así como los filtros a presión son generalmente discontinuos, los de vacío suelen ser continuos. Dentro de estos y dada su capacidad de obtención de torta, los filtros rotativos a vacío son los más utilizados industrialmente y de entre ellos destaca el filtro de tambor rotatorio, cuyo esquema viene en la figura 2.3.

El tambor está dividido en secciones, cada una de ellas conectada a la descarga. La suspensión se alimenta a un tanque en el que hay agitación para que los sólidos se mantengan en suspensión. Al girar el tambor, las secciones pasan a través de la pasta; el vacío que existe dentro de ellas hace pasar el filtrado a través del medio filtrante, depositando la torta sobre el tambor. A medida que la torta abandona la suspensión, se escurre, debido al flujo simultáneo de aire y filtrado. Después

- 1 BOMBA DE ALIMENTACION
- 2 AGUA DE LAVADO
- 3 DEPOSITOS RECEPTORES
- 4 BOMBA DE VACIO
- 5 BOMBA
- 6 CINTA DE RECOGIDA

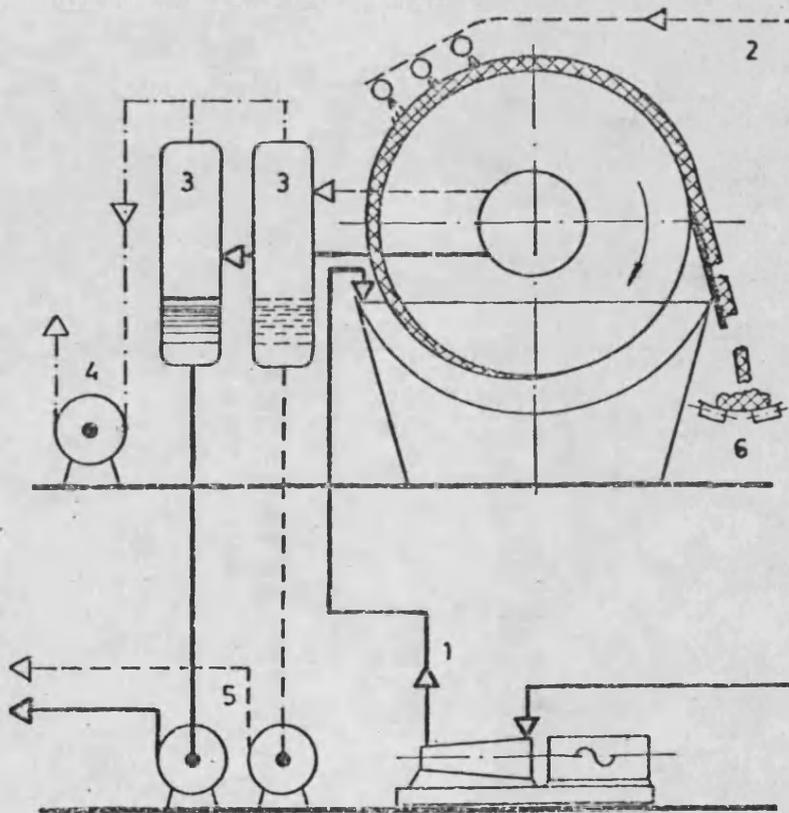


FIG. 2.3. FILTRO ROTATORIO DE VACIO

se lava y normalmente se vuelve a secar. Por último mediante una rasqueta o aire a presión se separa la torta del tambor, dejándolo en condiciones de reiniciar el proceso.

Los filtros de este tipo proporcionan en general grandes caudales de filtrado y un excelente lavado. Se disponen de ellos en un amplio margen de tamaños que va desde 0,3 a 80 m<sup>2</sup> de superficie filtrante.

Una modificación de este tipo de filtros la constituye el filtro de "recubrimiento previo", utilizados para filtrar pequeñas cantidades de sólidos, finos o gelatinosos que ordinariamente obstruyen las telas filtrantes. Estos filtros solo pueden usarse cuando se desechan los sólidos o cuando su mezcla con grandes cantidades del medio de filtración no constituye un problema importante.

Por último, y dentro de los filtros continuos de vacío, se encuentran los filtros horizontales utilizables cuando por cualquier razón la tubería de filtrado debe ser fácilmente accesible.

### 2.3.2. Medios de filtración.

La eficacia de un proceso de filtración depende en gran parte del adecuado funcionamiento del medio filtrante, por lo que es necesario hacer una elección correcta. El medio filtran-

te de cualquier filtro debe de cumplir los siguientes requisitos (Jordan, 1968):

- 1 .- Retener los sólidos que han de filtrarse, dando un filtrado suficientemente claro.
- 2 .- No obstruirse o cegarse.
- 3 .- Presentar una resistencia al flujo de filtrado pequeña.
- 4 .- Ser resistente al ataque químico del fluido y de los sólidos. Este ataque es más intenso cuando se trabaja a altas temperaturas o con sólidos abrasivos.
- 5 .- Permitir la descarga limpia y completa de la torta formada.
- 6 .- Presentar una duración adecuada que permita su reutilización durante un gran número de ciclos.
- 7 .- No tener un coste prohibitivo.

En la bibliografía existen numerosos trabajos Grace (1953)(1956), Brociner (1963), Machej y Gwordz (1973), Berndt y col. (1974) y Sayers y Barlow (1974), sobre la durabilidad, resistencia a la filtración, tamaño y distribución de tamaños

de poros, etc., de distintos tipos de telas filtrantes, en los que se ha establecido experimentalmente el campo de aplicación de cada uno de ellos.

En general, los tejidos sintéticos tales como nylon, saran, polipropileno, etc., son los más utilizados, al ser química y bacteriológicamente, muy resistentes y permitir una descarga fácil de la torta formada. Ciertamente son menos efectivos que los materiales naturales (más fibrosos) para la retención de partículas muy finas, pero esto constituye una desventaja sólo al principio de la filtración, ya que el medio de filtración real es la primera capa de sólidos depositada. El primer filtrado, turbio, se retornaría al depósito de la suspensión para volver a sufrir el proceso.

#### 2.2.4. Coadyuvantes de filtración.

Los sólidos muy finos o en forma de lodos, que forman una torta densa e impermeable, obturan rápidamente cualquier medio filtrante que sea lo suficientemente fino para retenerlos. La filtración práctica de tales materiales requiere que la porosidad de la torta se aumente para permitir el paso del líquido con una velocidad razonable. Esto se consigue añadiendo a la suspensión, antes de la filtración, coadyuvantes tales como tierra de diatomeas, arbesto, celulosa de madera purificada u otro sólido poroso inerte. El coadyuvante se separa, a continuación,

de la torta, disolviendo los sólidos o quemándolo. Si los sólidos no tienen valor se desechan junto con el, ya que esta separación es siempre difícil y a veces imposible.

Otra forma de usar un coadyuvante de filtración es por recubrimiento, es decir, depositando una capa sobre el medio filtrante antes de iniciar la operación de filtrado, que impide que durante el proceso los sólidos gelatinosos obstruyan la tela, proporcionando un filtrado más claro. La superficie específica de estas sustancias tiene una influencia considerable tanto en la velocidad de filtración como en la eficacia de la operación (Khromykh y col., 1973). Dado que un aumento en la velocidad de filtración implica normalmente una disminución en la eficacia del proceso, debido al arrastre de las partículas más finas, es conveniente realizar un estudio de cada coadyuvante y determinar cual es el más apropiado en cada caso. Bednarczyk (1974) ha estudiado la efectividad de distintos coadyuvantes, determinando la aplicación más adecuada para cada uno de ellos.

Heertjes y Zuideveld (1978 a) (1978 b) y (1978 c) han realizado un estudio en profundidad de los distintos tipos de filtración (con y sin formación de torta) utilizando los dos tipos de coadyuvantes, deduciendo en cada caso las ecuaciones correspondientes.

### 2.3. TEORIA DE LA FILTRACION.

#### 2.3.1. Balance de presión.

La presión sobre el fluido en la interfase fluido-torta tendrá un cierto valor,  $P$ , mientras que en la interfase medio filtrante-torta tendrá un valor  $P_i$ . Para que el flujo de fluido tenga lugar la presión hidráulica ha de caer desde  $P$  hasta  $P_i$ , es decir ha de variar continuamente desde la superficie de la torta hasta la superficie del medio.

Dado que las partículas en la torta están estacionarias, es claro que todas las fuerzas que actúan sobre ellas están compensadas. La fuerza de rozamiento viscoso es compensada por una fuerza opuesta transmitida desde el medio hasta la superficie de la torta por contacto puntual sólido-sólido.

Es decir, en un lecho de sólidos a través del cual se mueve un fluido se pueden distinguir tres presiones:

1.  $\Delta P$ , la presión total del sistema, medido sobre el lecho de sólidos.
2.  $P_f$ , presión hidráulica, que disminuye en la dirección de flujo del fluido, de modo similar a cualquier circulación por conducciones.

3.  $P_s$ , presión efectiva en los sólidos que aumenta en la dirección de flujo del fluido.

La relación entre ellos es:

$$\Delta P = P_f + P_s \quad (2-1)$$

que si diferenciamos con respecto a  $x$  (distancia en el interior de la torta) queda:

$$d P_s = - d P_f \quad (2-2)$$

Esta relación entre las presiones fue experimentalmente comprobada por Shirato en 1960. Continuando este trabajo, Tiller y Shirato (1964), Ueda y Yoshioka (1976) y Shirato y col. (1980) han constatado experimentalmente la disminución de la presión del fluido en cada punto de la torta a lo largo de la filtración, teniendo en cuenta que conforme avanza el proceso el espesor de la torta se va modificando.

### 2.3.2. Compresibilidad de los sólidos.

El aumento de la presión efectiva en los sólidos durante la filtración puede llevar a una disminución de la porosidad y por lo tanto a un aumento de la resistencia de la torta al flujo del líquido.

Frente a este aumento de la presión, los sólidos pueden comportarse de dos formas distintas. Si sus partículas poseen un cierto grado de plasticidad, cambiarán de forma modificando su porosidad y presentando, por lo tanto, mayor resistencia al paso del filtrado. Los sólidos que se comportan de este modo se dice que son compresibles. Por el contrario, si las partículas sólidas son rígidas, mantendrán su forma y porosidad, a pesar del aumento de presión (al menos dentro de ciertos rasgos de valores) presentando siempre la misma resistencia al paso del filtrado. Son los sólidos denominados incompresibles.

Tiller y Shirato (1964) observaron que incluso materiales muy duros presentaban una considerable compresividad y que la compresión tiene lugar preferentemente cerca de la interfase suspensión-torta.

Existe un gran número de sustancias que exhiben una compresibilidad moderada en el rango de presiones 1-7 kg/cm<sup>2</sup> y dado el interés práctico que presenta el conocimiento de su dependencia de la presión, Tiller (1953) propuso una ecuación de la forma:

$$\epsilon = \epsilon_0 P_s^{-m} \quad (2-3)$$

para la representación de los datos de diversas suspensiones de estas características y siempre dentro de un rango de presiones

relativamente bajo (1 a 7 kg/cm<sup>2</sup>), encontrando un valor constante para  $m$  de aproximadamente 0,04. Posteriormente Tiller y Shirato (1964) comprobaron que la ecuación (2-3) dejaba de ser válida para suspensiones que presentaban valores de  $m$  elevados (0,5 - 0,7).

Por otra parte Terzaghi y Peck (1948) utilizan una representación semilogarítmica para linealizar la variación de la porosidad con la presión aplicada, que es válida en el rango 10 - 100 kg/cm<sup>2</sup>. La ecuación propuesta es:

$$\frac{\epsilon}{1 - \epsilon} = C_1 \ln P_s + C_2 \quad (2-4)$$

que no es satisfactoria a bajas presiones frecuentemente utilizadas en los procesos de filtración.

### 2.3.3. Resistencia específica de la torta.

Las leyes básicas que gobiernan el flujo de líquidos a través de lechos uniformes e incompresibles, pueden ser utilizadas como bases para la obtención de ecuaciones para el flujo a través de lechos compresibles no uniformes.

A partir de la Ley de Darcy para el flujo unidireccional, escrita en la forma:

$$\frac{d P_f}{dY} = \frac{\mu q}{K} \quad (2-5)$$

donde  $K$  es la permeabilidad,  $d P_f / dy$  es el gradiente de presión hidráulica y  $q$  es la velocidad superficial del líquido. Para flujo laminar e introduciendo las modificaciones aportadas por Ruth (1933) para la filtración, se tiene:

$$\frac{d P_f}{dw} = \mu \alpha q \quad (2-6)$$

donde  $w$  es la masa de sólidos secos depositada por unidad de área y  $\alpha$  la resistencia específica al flujo de filtrado.

Teniendo en cuenta (2-2), la ecuación (2-6) queda:

$$\mu q dw = - \frac{d P_s}{\alpha} \quad (2-7)$$

que servirá de base para obtener la ecuación general integrada. La (2-7) para un punto dado de la torta es:

$$\frac{d P_s}{d w_y} = - \mu \alpha_y q_y \quad (2-8)$$

donde:  $P_s$  : presión efectiva en el punto  $y$  dentro de la torta ( $N/m^2$ )

$w_y$  : masa de sólido seco por unidad de área a la distancia  $y$  desde el medio ( $kg/m^2$ )

$\mu$  : viscosidad del filtrado ( $kg/m.s$ )

$\alpha_y$  : valor puntual de la resistencia específica a la distancia  $y$  (m/kg)

$q_y$  : densidad de flujo de líquido en el punto  $y$  de la torta ( $m^3/m^2 \cdot s$ )

El valor medio de la resistencia se puede obtener a partir de la resistencia puntual de la torta, mediante una integración. Ruth (1933) obtuvo la ecuación en la forma:

$$\alpha = (P - P_i) / \int_0^{P-P_i} \frac{d P_s}{\alpha_y} \quad (2-9)$$

Si los sólidos no son compresibles, la resistencia específica puntual de la torta es la misma en todos sus puntos y lógicamente coincide con lo que se ha denominado valor medio de la resistencia.

Sin embargo en la mayoría de los casos, los sólidos son compresibles y la resistencia específica varía con la caída de presión a través de la torta, siendo necesario sustituir el valor de  $\alpha$  en la ecuación (2-7) por el valor medio calculado mediante la ecuación (2-9), para lo cual es necesario conocer la función  $\alpha_y = f(P_s)$ .

Esta función se obtiene mediante tests de filtración a escala piloto o mediante el uso de una célula de compresión-permeabilidad, Tiller y col. (1972 a) (1972 b), como se describirá posteriormente.

Tiller y Crump (1977 b), dan una ecuación empírica, utilizable dentro de un limitado rango de presiones, ya anteriormente recogida por Blackadder y Nedderman (1971) en la forma:

$$\alpha_y = r \Delta P^n \quad (2-10)$$

donde  $r$  es la resistencia para la unidad de presión aplicada y  $n$  es el coeficiente de compresibilidad (igual a cero para sustancias incompresibles).

Sustituyendo el valor de  $\alpha$  dado por la (2-10) en la ecuación diferencial (2-9) e integrando el valor de la resistencia específica media obtenido es:

$$\alpha = (1 - n) r \Delta P^n = \alpha_o \Delta P^n \quad (2-11)$$

El aumento de la presión efectiva en la dirección de la interfase torta-medio, lleva a una continua disminución de la porosidad en tortas compresibles. Un resultado interesante de esta "compactación de la torta" es que el fluido es literalmente impulsado fuera de la torta en el curso de la filtración y la densidad de flujo del fluido,  $q_y$ , es mayor cerca del medio que en la interfase torta-suspensión. Consecuentemente, para sólidos compresibles, el término  $q_y$  en la ecuación (2-8) no puede considerarse constante.

Tiller y Shirato (1964) redefinen el concepto de resistencia específica media de la torta teniendo en cuenta la variación de la densidad de flujo. La ecuación (2-9) queda de la forma:

$$\alpha_T = \left[ \int_0^1 \left( \frac{q_y}{q_i} \right) d \left( \frac{w_y}{w} \right) \right] \left[ (P - P_i) / \int_0^{P-P_i} \frac{d P_S}{\alpha_y} \right] \quad (2-12)$$

$$\text{ó} \quad \alpha_T = J \alpha \quad (2-13)$$

$$\text{donde} \quad J = \int_0^1 \left( \frac{q_y}{q_i} \right) d \left( \frac{w_y}{w} \right) \quad (2-14)$$

Ecuación que sirve para la definición de J, factor de corrección por el que hay que multiplicar la resistencia específica convencional y que depende de la variación de la porosidad en la torta y de la concentración inicial de sólidos.

Puede demostrarse que los límites teóricos de J vienen dados por:

$$q_0 / q_i \leq J \leq 1 \quad (2-15)$$

Tiller y Shirato (1964) dan un método gráfico para calcular J, una vez conocida la distribución de la porosidad. Para suspensiones muy concentradas, la variación de la velocidad de flujo del fluido a lo largo de la torta es muy grande, mientras que para suspensiones diluidas, es despreciable.

El trabajo de investigación realizado por Tiller (1953), Grace (1953) y Shirato y Okamura (1959) ha supuesto una gran contribución al conocimiento y comprensión del mecanismo de la filtración. Sin embargo el gran número de parámetros, de laboriosa obtención, que es preciso conocer para la utilización de las ecuaciones desarrolladas por ellos, ha hecho que para aplicaciones industriales se hayan desarrollado tests mucho más simplificados que suponen la constancia de algunos de los parámetros anteriormente citados.

#### 2.3.4. Ecuación general de la filtración.

La integración de la ecuación (2-7) para todo el espesor de torta conduce a:

$$\mu q w = \int_0^{P-P_1} d P_s / \alpha_y \quad (2-16)$$

donde  $P_1$  es la presión requerida para vencer la resistencia del medio filtrante,  $R_m$ , que se puede evaluar como

$$P_1 = \mu q R_m \quad (2-17)$$

Sustituyendo en (2-16) el valor de  $\alpha$  dado por (2-13) y teniendo en cuenta la ecuación (2-17) la integración conduce a

$$q = \frac{\Delta P}{(J \alpha w + R_m)} \quad (2-18)$$

Para la utilización práctica de esta ecuación suelen aceptarse las siguientes simplificaciones:

- Se considera el término  $J$  (que, como se ha indicado, representa la variación de la densidad del flujo del líquido a lo largo de la torta) igual a la unidad.
- Se hace:

$$q = \frac{d V}{S d t} \quad (2-19)$$

siendo:

- $V$  : volumen de filtrado ( $m^3$ )
- $S$  : sección transversal ( $m^2$ )
- $t$  : tiempo (s)

asignándole a  $q$  el valor de salida de la torta, es decir la velocidad de filtrado medida experimentalmente.

- $w$  se relaciona con  $V$  mediante la expresión:

$$w = \frac{V \cdot c}{S} \quad (2-20)$$

donde  $c$  es una medida de la concentración de sólidos en la suspensión (masa de sólido seco por unidad de volumen de filtrado).

La ecuación (2-18) con las anteriores simplificaciones se transforma en:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \cdot S}{\alpha \mu c (V/S) + \mu R_m} \quad (2-21)$$

La utilización más frecuente de la ecuación (2-21) es en su forma inversa, es decir:

$$\frac{dt}{dV} = \alpha \mu c \frac{V}{S^2 \Delta P} + \frac{\alpha \cdot R_m}{S \cdot \Delta P} \quad (2-22)$$

#### 2.3.4.1. Filtración a presión constante.

Si  $\Delta P$  es constante, la ecuación (2-22) se puede integrar dando:

$$t = \frac{\alpha \mu c}{2 S^2 \Delta P} \cdot V^2 + \frac{\mu R_m}{S \Delta P} \cdot V \quad (2-23)$$

Dividiendo ambos miembros por  $V$ , se llega a:

$$\frac{t}{V} = a V + b \quad (2-24)$$

donde se ha llamado:

$$a = \frac{\alpha \cdot \mu \cdot c}{2 S^2 \Delta P} \quad (2-25)$$

$$b = \frac{\mu R_m}{S \cdot \Delta P} \quad (2-26)$$

Realmente  $\alpha$  varía ligeramente a lo largo del proceso de filtración, pero se ha comprobado (Tiller y Grump, 1977) que esta variación es despreciable para filtraciones que duren tiempos superiores a unos 10 minutos. Por lo tanto,  $a$  y  $b$  tomarán valores constantes para cada test de filtración realizado a presión constante y al representar  $t/V$  frente a  $V$ , deberá obtenerse una línea recta de ordenada en el origen y pendiente positivas. A partir de dichos valores es posible calcular  $\alpha$  y  $R_m$ .

#### 2.3.4.2. Filtración a velocidad constante.

Si la velocidad de filtrado se mantiene constante ( $dV/dt = \text{Cte} = Q$ ) y la presión  $\Delta P$  varía, la ecuación (2-21) quedará:

$$Q = \frac{\Delta P (t) S}{\alpha \mu c \{V (t)/S\} + \mu R_m} \quad (2-27)$$

Si se tiene en cuenta que:

$$V = Q \cdot t \quad (2-28)$$

despejando la presión, se llega a:

$$\Delta P = \alpha \mu c \frac{Q^2}{S^2} t + \mu R_m \frac{Q}{S} \quad (2-29)$$

En este caso una representación de  $\Delta P$  frente a  $t$  dará una línea recta de ordenada en el origen y pendiente positivas que permitirían a su vez, obtener los valores de  $\alpha$  y  $R_m$ .

#### 2.3.4.3. Filtración a velocidad constante seguida de filtración a presión constante.

En muchas ocasiones, por ejemplo en filtros prensa de placas y marcos en los cuales la suspensión es impulsada mediante una bomba, la primera fase de la filtración es llevada a cabo a velocidad casi constante. A medida que la torta crece y ofrece una mayor resistencia al flujo, la presión desarrollada por la bomba alcanza su valor límite y la filtración tiene lugar a presión prácticamente constante.

Para una operación combinada de ese tipo, las ecuaciones a utilizar serían las que corresponde a:

$$\begin{aligned} \Delta P &= K_1 t + K_2 && \text{para } t < t_0 \\ \Delta P &= \text{cte} && \text{para } t \geq t_0 \end{aligned}$$

#### 2.4. TESTS DE FILTRACION A PRESION CONSTANTE.

Para la realización de ensayos de filtración a presión constante Jordan (1968) da una serie de normas básicas, que se puede resumir en:

- Conocer con exactitud el área de filtración.
- Controlar y conocer perfectamente el valor de la presión.
- Medir el volumen de filtrado con la mayor exactitud posible.
- Realizar todas las experiencias a la misma temperatura.

Para realizar este tipo de tests se han utilizado varios dispositivos. Uno de los más antiguos es el formado por un área en forma de disco que puede ser de gran tamaño. El medio filtrante se fija mediante un marco interior y el conjunto se sumerge en la suspensión contenida en un tanque. El filtrado es obligado a atravesar el medio filtrante aplicando un vacío en el interior del filtro, o el tanque puede estar cerrado y la suspensión ser movida aplicando gas a presión o por bombeo.

La realización de ensayos a escala de laboratorio utilizando estos filtros es muy frecuente. De acuerdo con lo indicado pueden ser de vacío, como los descritos por Bonilla (1943) Brenner (1965) y por Mirokhin (1977) o de presión, Clark y Porges (1943).

Los datos de filtración obtenidos en estos filtros pueden ser tratados como los obtenidos en un filtro prensa de platos y

marcos en condiciones de funcionamiento similares (presión constante o velocidad de filtrado constante). Un segundo tipo de aparato es la célula de filtración a presión, muy utilizada también para la obtención de datos de filtración a escala de laboratorio, Brociner (1963), Tiller y Shirato (1962), Joo (1973) y Wright (1976).

Básicamente consiste en un cilindro vertical con un pistón móvil, por medio del cual se aplica la presión a la suspensión. En algunos casos el efecto del pistón se sustituye por gases a presión (Wilhelm, 1978).

## 2.5. OBJETO Y ALCANCE DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

Como ya se ha indicado la filtración a presión es un proceso ampliamente utilizado en la industria cerámica para la separación de sólidos con baja velocidad de sedimentación y baja filtrabilidad.

En toda la bibliografía consultada no se ha encontrado ningún trabajo en el que se deduzcan ecuaciones empíricas que relacionen entre sí a más de dos variables del proceso, con las que se podría fijar las condiciones óptimas de trabajo para una barbotina dada.

Con vistas a obtener la información suficiente para tratar de deducir dichas ecuaciones se planteó un programa de trabajo cuyos puntos fundamentales fueron los siguientes:

Diseñar y realizar una instalación de filtración a presión, a escala piloto, capaz de trabajar hasta presiones ligeramente superiores a las normalmente utilizadas en los filtros prensa industriales.

Comprobar que los datos obtenidos en este dispositivo cumplen las ecuaciones teóricamente deducidas para la filtración a presión constante.

Estudiar la influencia que puedan tener sobre la resistencia específica y la porosidad:

- el volumen inicial de barbotina introducida en el filtro.
- la concentración inicial de sólidos.
- la granulometría de la barbotina.
- la presión.

Repetir este estudio para cada uno de los tres tipos de barbotinas más utilizado por la industria del País Valenciano: feldespática, procelana y calcárea, con el fin de tratar de deducir consideraciones generales.

### 3. APARATO

#### 3.1. FILTRO DE VACIO.

Para la realización de una serie de experiencias previas se utilizó un filtro de laboratorio a vacío esquematizado en la figura 3.1. El medio filtrante, fijado por un marco interior, consistía en lona de la utilizada en un filtro prensa industrial. El filtro (1) se conectaba a una probeta (2) donde se recogía el filtrado y se podía medir el volumen de líquido en cada instante. La salida de la probeta iba conectada a una bomba de vacío a través de dos condensadores de humedad (3). La presión del sistema se medía mediante un manómetro de rama - abierta, con mercurio como líquido manométrico (4) y se regulaba con una válvula abierta a la atmósfera (6).

El filtro iba sumergido en un tanque abierto (5) que contenía la barbotina a filtrar mantenida en suspensión mediante burbujeo de aire.

#### 3.2. FILTRO DE PRESION.

Para la realización de las experiencias a presión se construyó un aparato del tipo denominado "célula de filtración a presión" cuyos detalles de construcción se indican en el Apéndice 8.1.2.

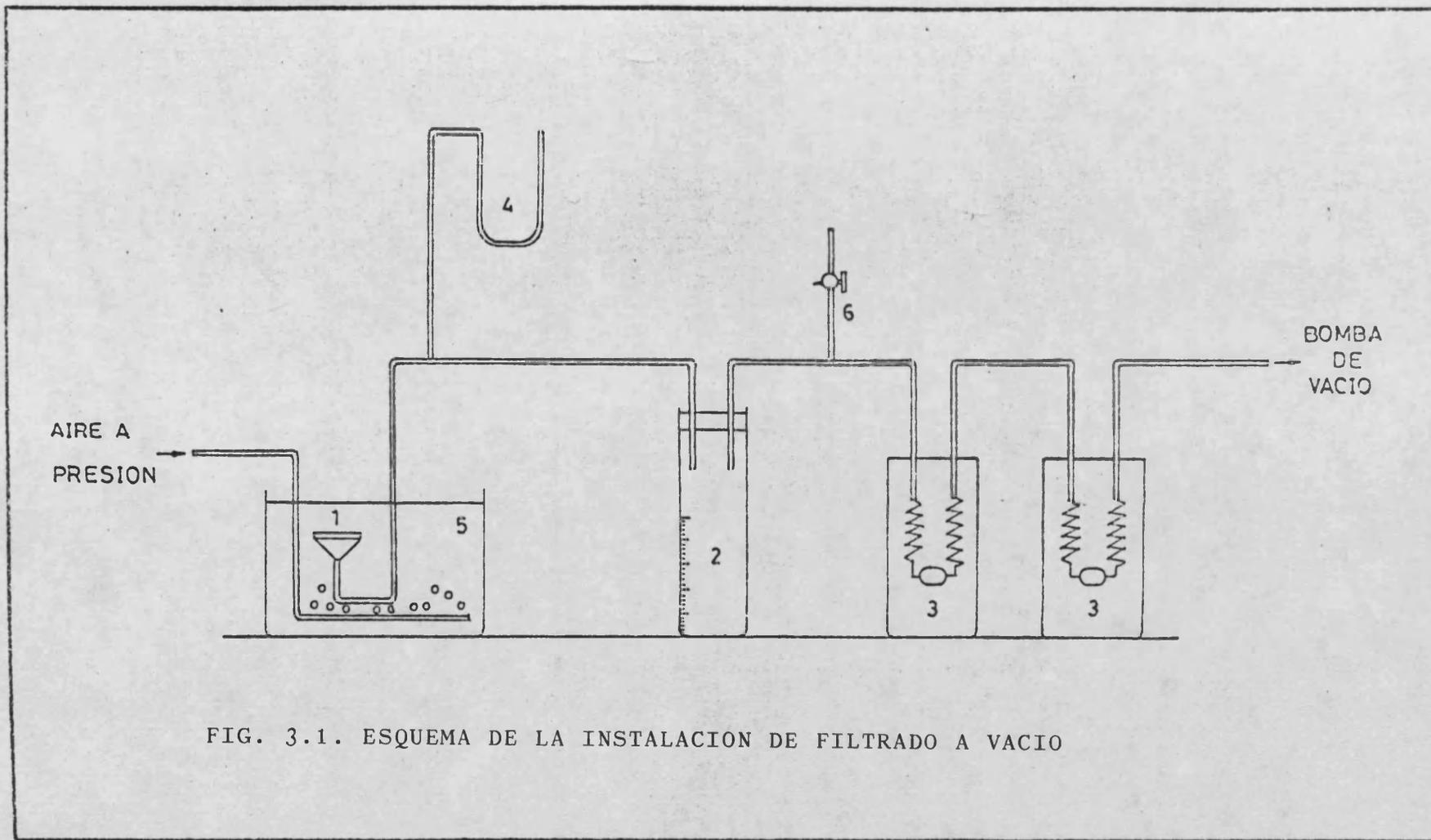


FIG. 3.1. ESQUEMA DE LA INSTALACION DE FILTRADO A VACIO

Este filtro consiste en un cilindro de acero inoxidable de 15 cm. de diámetro interno y 20 cm. de altura, con dos piezas atornilladas en los extremos. La parte inferior sirve de soporte del medio filtrante, que al igual que en el filtro a vacío era tela de la utilizada en un filtro industrial. Esta tela descansa sobre una lámina de acero perforada. La pieza inferior sirve al mismo tiempo para canalizar el filtrado hacia el depósito receptor. La parte superior contiene la entrada de gas, un manómetro, una válvula de seguridad y un orificio para la entrada de barbotina cerrado con una placa atornillada.

En la figura 3.2. se ha representado un esquema de la instalación completa.

El aparato (1) descansa sobre un trípode fijo (2) del cual puede ser retirado con facilidad.

La presión necesaria para la filtración se suministra mediante un tubo de Nitrógeno a presión (3), dotado de manómetro y llave de regulación (4).

El manómetro graduado hasta  $25 \text{ kg/cm}^2$  nos limita el valor de la presión de trabajo, pero que a nivel industrial el valor máximo de actuación de los filtros en el proceso estudiado, es de  $13 \text{ kg/cm}^2$ , se consideró que el rango de presiones, a escala de laboratorio, era suficientemente amplio.

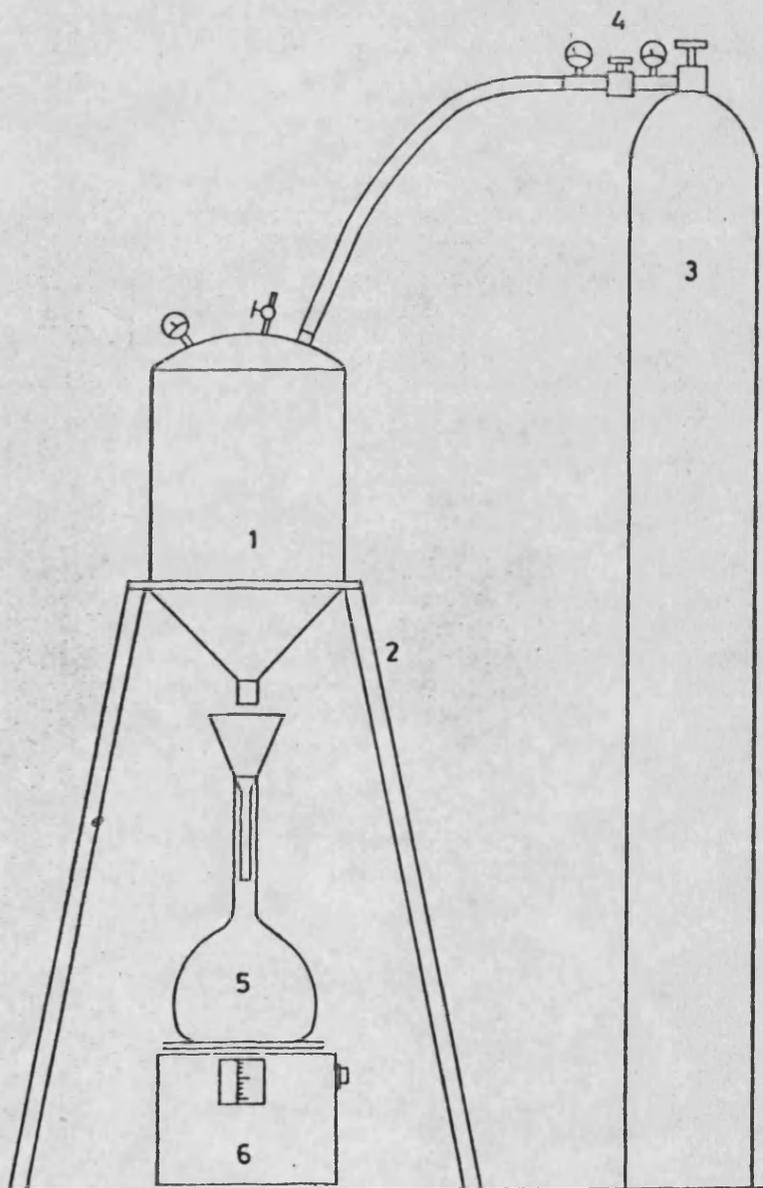


FIG. 3.2. ESQUEMA DE LA INSTALACION DE FILTRACION A PRESION.

El filtrado se recogía en un matraz (5) situado sobre una balanza digital (6), por lo que con la ayuda de un cronómetro se podía conocer los pesos de filtrado correspondientes a cada tiempo.

#### 4. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO.

##### 4.1. MATERIALES.

Para la realización de los experimentos se utilizaron cuatro tipos distintos de barbotinas, dos de tipo feldespático, una porcelana y una calcárea, todas ellas suministradas por Pastas Cerámicas Diez, S.L. de Manises (Valencia).

##### 4.1.1. Barbotina feldespática I.

Pasta feldespática dura especialmente preparada para monococción. Por su alta resistencia mecánica en cocido está indicada para la fabricación de cerámica de mesa y piezas artísticas de gran calidad.

Su análisis químico se detalla a continuación:

$\text{SiO}_2$	79,20 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9,58 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,27 %
$\text{TiO}_2$	0,12 %
$\text{MgO}$	3,35 %
$\text{CaO}$	0,72 %
$\text{K}_2\text{O}$	0,52 %
$\text{Na}_2\text{O}$	1,35 %
Pérdida al fuego	4,85 %

#### 4.1.2. Barbotina feldespática II.

Igual a la anterior en su composición, diferenciándose tan sólo en el tanto por 100 de arcilla utilizado para su preparación, que le confiere una plasticidad muy distinta.

Su análisis químico fue:

SiO <sub>2</sub>	74,43 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,10 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50 %
Ti O <sub>2</sub>	0,25 %
Mg O	2,60 %
Ca O	0,33 %
K <sub>2</sub> O	1,30 %
Na <sub>2</sub> O	1,45 %
Pérdida al fuego	4,98 %

#### 4.1.3. Barbotina porcelana.

Destinada especialmente para servicio de mesa y piezas artísticas de gran translucidez.

Su análisis químico fué:

SiO <sub>2</sub>	73,66 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,16 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27 %
TiO <sub>2</sub>	0,08 %
Mg O	0,07 %
Ca O	0,24 %
K <sub>2</sub> O	2,31 %
Na <sub>2</sub> O	0,73 %
Pérdida al fuego	5,49 %

#### 4.1.4. Barbotina calcárea.

Comunmente llamada "mayólica" se utiliza para la fabricación de cerámica artística. Su blancura, plasticidad y buen comportamiento en colage, la hacen una pasta muy versátil, utilizándose en distintas modalidades como torno, plantilla, prensa, mimbre, etc.

Su análisis químico fué:

SiO <sub>2</sub>	37,80 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,47 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,31 %
Ti O <sub>2</sub>	0,45

Mg O	8,64 %
Ca O	13,34 %
K <sub>2</sub> O	0,19 %
Na <sub>2</sub> O	0,04 %
Pérdida al fuego	24,76 %

#### 4.1.5. Tela filtrante.

Como medio filtrante se utilizó una tela suministrada por S.A.T.I., Tejidos Industriales, modelo NF 5575 igual a las utilizadas por los filtros prensa de la industria que suministró las barbotinas.

#### 4.2. PROCEDIMIENTO.

##### 4.2.1. Preparación de las barbotinas.

Para poder barrer un amplio margen de granulometrías en los experimentos, las barbotinas fueron preparadas en el laboratorio.

En primer lugar se realizaba una premolienda de las distintas materias primas que constituían la barbotina, en un molino de martillos a fin de conseguir una disminución del tamaño de las partículas y una homogenización del sólido.



Posteriormente se procedía a su molienda por vía húmeda, en un molino de bolas. Los distintos tiempos de molienda se tomaban basándose en la variación de tipo exponencial del diámetro medio de las partículas con el tiempo. Se utilizaron bolas de tres tamaños y un peso de ellas igual al del sólido. Las características de ambos molinos se detallan en el Apéndice 8.1.3.

Las barbotinas una vez preparadas, se utilizaron en el plazo máximo de una semana para evitar su envejecimiento.

#### 4.2.2. Filtración a presión de una barbotina.

Antes de proceder al llenado del aparato, la barbotina era agitada durante unos cinco minutos para mantener los sólidos en suspensión a una concentración uniforme. Una vez conseguido esto, se realizaba una toma de muestras para determinar el valor de la concentración en sólidos y su densidad. Se medía el volumen de barbotina a filtrar y se introducía por la parte superior del aparato.

Después de cerrar la célula se abría la llave del tubo a presión hasta conseguir la presión de trabajo deseada. Una vez lleno el aparato, el tiempo que transcurría hasta la aplicación de la presión, debía de ser el menor posible para evitar el comienzo de la filtración por gravedad. Este tiempo nunca fué superior a 1 minuto.

El filtrado era recogido en un matraz previamente tarado situado sobre una balanza digital. En el instante en que - caía la primera gota, se ponía en marcha un cronómetro, pudiendo conocer así los pesos correspondientes a cada tiempo. La toma de datos se realizó cada 20-25 grs. de filtrado.

La filtración finalizaba brúscamente en el momento en que toda la barbotina se había depositado en forma de torta y la capá superior de sólidos tenía que soportar el total de la presión dando lugar a la formación de grietas. En el momento en que comenzaba a caer la presión, se cerraba el paso de Ni-trógeno y se abría la válvula de seguridad para quitar la pre-sión dentro del aparato. Una vez hecho esto se abría la parte superior y se retiraba la torta para examinarla. Se tomaban dos muestras, lo más representativas posible y se secaban a 104<sup>o</sup>C hasta pesada constante. La mayor parte de las veces el tiempo de secado fue de 16 a 20 horas.

El aparato era retirado del trípode y lavado con agua a presión.

La duración de los experimentos variaba mucho con el tipo de barbotina, presión, etc., estando en general compren-dido entre 1 y 5 horas.

El efecto de la concentración inicial de sólidos, volu-men inicial de barbotina, presión y granulometría se estudió variando separadamente cada parámetro y midiendo los cambios en el tiempo de filtrado resistencia específica y contenido en hu-medad de la torta.

#### 4.2.3. Determinación de la granulometría.

Existe un gran número de métodos para la medida de la distribución de tamaños de partículas pero dado el rango de tamaños presentes en estas barbotinas (2-100  $\mu\text{m}$ ), se consideró la pipeta de Andreasen el más idóneo.

Las muestras se tomaron directamente de la torta y dado que eran muy pequeñas (aproximadamente 5 gramos) se realizaron cuidadosamente a fin de que fueran lo más representativas posibles.

El cálculo del rechazo se tomó para un tamiz de 60  $\mu\text{m}$  y la última toma de muestra se hizo a un tiempo tal que el diámetro correspondiente fuera del orden de 2  $\mu\text{m}$ .

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

### 5.1. EXPERIMENTOS PREVIOS.

#### 5.1.1. Filtro de vacio.

Con el fin de estudiar la concordancia entre la teoría sobre filtración existente en la bibliografía y los datos experimentales obtenidos en el laboratorio se procedió al montaje del filtro de vacio descrito en el apartado anterior y esquematizado en la figura 3.1. realizándose en él una serie de experimentos de filtración a presión constante. La única variable que se modificó de un experimento a otro fue la presión, manteniéndose todas las demás constantes en toda la serie.

La barbotina utilizada para estos experimentos fue del tipo feldespática I. La molienda había sido realizada en el molino de bolas de la fábrica suministradora y su distribución granulométrica aparece detallada en la tabla 5.1. y representada en la figura 5.1.

Los resultados obtenidos para las distintas presiones a que se trabajó se detallan en las tablas 5.2. a 5.6.

TABLA 5.1.

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática I

Muestra: E-1

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 1,23 %

Partículas < D (%)	Diámetro equivalentes D ( $\mu\text{m}$ )
72,51	23,86
62,81	14,46
55,17	9,41
49,62	6,97
44,81	5,52
39,47	4,11
33,82	2,80
32,99	2,55

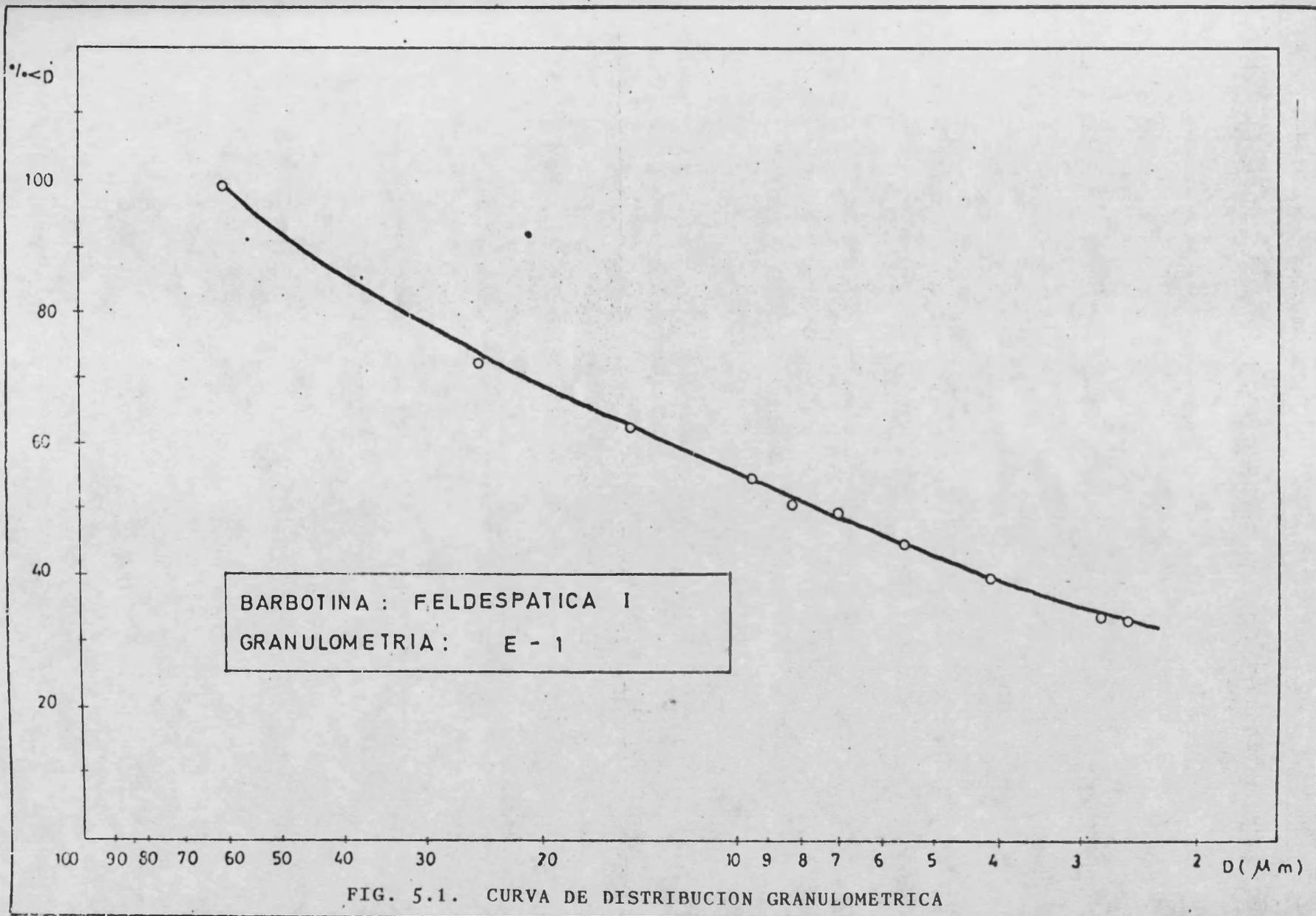


TABLA 5.2.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Filtro de vacío

Presión:  $5,348 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4298

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
7,9	255	32,28	42,9	1.723	40,16
12,9	420	32,56	47,9	1.983	41,40
17,9	583	32,57	52,9	2.299	43,46
22,9	761	33,23	57,9	2.635	45,51
27,9	935	33,51	62,9	2.996	47,63
32,9	1.210	36,78	67,9	3.395	50,00
37,9	1.468	38,73	77,9	4.245	54,49

TABLA 5.3.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Filtro de vacío

Presión:  $6,668 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3747

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
2,5	40,0	16,00	45,0	1.038,0	23,10
5,0	80,0	16,00	47,5	1.125,0	23,68
12,5	205,0	16,40	50,0	1.212,5	24,25
15,0	252,5	16,83	52,5	1.299,0	24,74
17,5	302,0	17,26	55,0	1.379,0	25,10
20,0	354,0	17,70	57,5	1.493,0	25,96
22,5	413,0	18,36	60,0	1.589,0	26,48
25,0	471,5	18,86	62,5	1.670,0	26,72
27,5	542,0	19,71	65,0	1.756,0	27,02
30,0	593,0	19,77	67,5	1.856,0	27,50
32,7	666,0	20,37	70,0	1.965,0	28,07
35,0	724,0	20,69	72,5	2.070,0	28,55
37,5	804,5	21,45	75,0	2.182,0	29,09
40,0	884,0	22,10	77,5	2.312,0	29,83
42,5	961,0	22,61	80,0	2.460,0	30,75

TABLA 5.4.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Filtro de vacío

Presión:  $7,428 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3799

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
3,0	36,0	12,00	30,5	525,5	17,23
6,0	75,0	12,50	33,0	586,5	17,77
8,0	103,0	12,87	35,5	646,0	18,20
10,5	139,0	13,24	38,0	707,5	18,62
13,0	179,0	13,77	40,5	776,0	19,16
15,5	219,5	14,16	43,0	841,5	19,57
18,0	265,0	14,72	45,5	902,0	19,82
20,5	312,0	15,22	48,0	1.003,0	20,90
23,0	363,0	15,78	50,5	1.008,0	21,39
25,5	417,0	16,35	53,0	1.161,5	21,92
28,0	472,5	16,87			

TABLA 5.5.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Filtro de vacío

Presión:  $8,148 \cdot 10^4$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3747

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
12,8	226,0	17,66	65,3	1.436,5	22,00
17,8	297,0	16,69	67,8	1.507,0	22,23
22,8	376,0	16,49	70,3	1.597,5	22,72
27,8	465,0	16,73	72,8	1.698,5	23,33
32,8	579,5	17,67	75,3	1.762,0	23,40
37,8	672,0	17,78	77,8	1.864,0	23,96
42,8	791,0	18,48	80,3	2.005,0	24,97
45,3	854,0	18,85	82,8	2.123,0	25,64
47,8	921,0	19,27	85,3	2.250,0	26,38
50,3	995,0	19,78	87,8	2.346,0	26,72
52,8	1.059,5	20,07	90,3	2.489,0	27,56
55,3	1.128,0	20,40	92,8	2.528,0	27,24
57,8	1.197,5	20,72	95,3	2.696,0	28,29
60,3	1.280,0	21,23	97,8	2.806,0	28,69
62,8	1.351,0	21,51	100,3	2.919,0	29,10

TABLA 5.6.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Filtro de vacío

Presión:  $9,469 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3747

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
3,8	29,5	7,76	46,3	809,0	17,47
8,3	81,5	9,26	48,8	874,0	17,91
13,8	129,5	9,38	51,3	934,5	18,22
30,0	243,0	8,10	53,8	1.003,0	18,64
33,8	527,5	15,61	56,3	1.075,5	19,10
36,3	581,0	16,00	58,8	1.144,0	19,46
38,8	635,0	16,37	61,3	1.215,0	19,82
41,3	696,0	16,85	70,0	1.242,0	17,74
43,8	752,0	17,17			

### 5.1.2. Filtro a presión.

Con el objeto de establecer la influencia de los distintos parámetros que caracterizan a una barbotina sobre su filtración, se realizaron varias series de experimentos previos, manteniendo constante en cada serie todas las variables menos el parámetro a estudiar.

En primer lugar se realizaron tres series para estudiar la posible influencia del volumen inicial de barbotina introducido en el aparato. Cada serie se realizó a una presión distinta (6,8 y 10 kg/cm<sup>2</sup>) tomándose en cada ensayo un volumen inicial de barbotina diferente (1,4, 1,7 y 2 l.).

No se consideró oportuno utilizar volúmenes mayores:

- Porque el volumen de torta formado sería ya superior al doble de una torta industrial.
- Porque los efectos de la fricción con las paredes podría comenzar a influir en el valor de la resistencia obtenido (Tiller y col. 1972 a).

En todos los experimentos se tomaron un número de medidas  $t$ ,  $V$  superior a 30, pero para la construcción de las tablas  $t/V = f(V)$  se han tomado en todos los casos, 30 puntos, distribuidos lo más regularmente posible.

Para estas tres series los valores de  $t/V$  frente a  $V$  aparecen recogidos en las tablas 5.7 a 5.15.

Las tres series se realizaron con barbotina feldespática I, molida en fábrica, igual a la utilizada en el filtro de vacío y cuya granulometría se indicó ya en la figura 5.1.

En segundo lugar se estudió la influencia de la concentración inicial de sólidos. Para ello se hicieron también tres series de experimentos cada una con un tipo distinto de barbotina (feldespática II, porcelana y calcárea). En cada serie se mantuvieron constantes todos los parámetros excepto el que se deseaba estudiar. Cada una constó de tres experimentos, cuyos resultados aparecen detallados en las tablas 5.16 a 5.24.

En tercer lugar se realizó una serie de siete experimentos, variando únicamente la presión, para establecer el valor de la resistencia del medio filtrante, compararlo con el de la resistencia total de la torta y establecer una primera aproximación a la variación de la resistencia específica y la porosidad de la torta con la presión.

Las filtraciones se realizaron con barbotina feldespática I.

Los valores obtenidos para la variación de  $t/V$  con  $V$  se detallan en las tablas 5.7, 5.10, 5.13 y 5.25 a 5.28.

TABLA 5.7.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4331

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
17,6	30	1,71	421,4	2.400	5,70
52,5	90	1,71	465,6	2.880	6,19
77,6	150	1,93	486,3	3.120	6,42
97,5	210	2,15	515,5	3.480	6,75
123,6	300	2,43	543,3	3.840	7,07
153,2	420	2,74	578,7	4.320	7,46
178,1	540	3,03	597,5	4.590	7,68
212,6	720	3,39	617,9	4.890	7,91
241,8	900	3,72	647,2	5.340	8,25
260,6	1.020	3,91	680,8	5.880	8,64
285,7	1.200	4,20	703,0	6.240	8,88
317,3	1.440	4,54	733,7	6.780	9,24
346,0	1.680	4,86	763,9	7.320	9,58
379,4	1.980	5,22	791,5	7.860	9,93
397,6	2.160	5,43	819,6	8.400	10,25

TABLA 5.8.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4200

Volumen inicial de barbotina: 1,7 l.

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
27,0	30	1,11	516,2	3.120	6,04
76,4	120	1,57	547,1	3.480	6,36
109,9	210	1,91	576,6	3.840	6,60
136,3	300	2,20	609,5	4.260	6,99
167,5	420	2,51	638,4	4.650	7,28
206,3	600	2,91	670,1	5.100	7,61
239,5	780	3,26	701,0	5.550	7,92
269,6	960	3,56	742,7	6.180	8,32
297,5	1.140	3,83	761,2	6.480	8,51
323,0	1.320	4,09	793,8	7.020	8,84
358,1	1.590	4,44	825,0	7.560	9,16
390,3	1.860	4,77	855,8	8.100	9,46
420,3	2.130	5,07	885,3	8.640	9,76
448,1	2.400	5,36	925,9	9.360	10,11
483,0	2.760	5,71	951,5	9.780	10,28

TABLA 5.9.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4074

Volumen inicial de barbotina: 2 l.

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
26,1	30	1,15	612,9	4.080	6,66
75,0	120	1,60	641,3	4.440	6,92
119,8	240	2,00	683,8	5.010	7,33
145,6	330	2,27	716,1	5.460	7,63
183,7	480	2,61	764,0	6.180	8,09
232,9	720	3,09	809,3	6.900	8,53
265,3	900	3,39	841,5	7.440	8,84
304,0	1.140	3,75	882,9	8.160	9,24
330,9	1.320	3,99	912,4	8.700	9,54
359,3	1.530	4,26	953,6	9.480	9,94
414,6	1.980	4,78	987,1	10.140	10,27
444,6	2.250	5,06	1.033,5	11.100	10,74
496,7	2.760	5,56	1.077,8	12.060	11,19
530,9	3.120	5,88	1.128,1	13.200	11,70
563,0	3.480	6,18	1.167,8	14.100	12,07

TABLA 5.10.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3679

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
34,4	30	0,87	452,9	1.710	3,78
78,9	90	1,14	479,7	1.905	3,97
110,9	150	1,35	507,3	2.115	4,17
135,8	210	1,55	536,1	2.340	4,37
158,2	270	1,71	564,7	2.580	4,57
183,2	345	1,88	595,3	2.850	4,79
210,2	435	2,07	626,3	3.135	5,01
238,2	540	2,27	655,7	3.420	5,22
267,2	660	2,47	693,5	3.810	5,49
293,7	780	2,66	722,7	4.110	5,69
317,7	900	2,83	750,1	4.410	5,88
340,7	1.020	2,99	777,8	4.725	6,08
367,2	1.170	3,19	804,6	5.040	6,26
397,7	1.350	3,40	829,0	5.320	6,54
425,6	1.530	3,60	857,5	5.700	6,65

TABLA 5.11.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3721

Volumen inicial de barbotina: 1,7 l.

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
36,0	30	0,83	536,0	2.340	4,37
102,3	120	1,17	578,7	2.700	4,67
130,6	180	1,38	611,4	3.000	4,91
164,2	270	1,64	658,2	3.450	5,24
188,9	345	1,83	687,6	3.750	5,45
215,1	435	2,02	715,9	4.050	5,66
242,5	540	2,23	744,5	4.365	5,86
284,4	720	2,53	773,7	4.695	6,07
309,0	840	2,72	802,7	5.040	6,28
338,1	990	2,93	831,9	5.400	6,49
364,5	1.140	3,13	895,1	6.210	6,94
394,2	1.320	3,35	923,5	6.600	7,15
435,5	1.590	3,65	965,4	7.200	7,46
463,7	1.785	3,85	994,8	7.635	7,68
506,1	2.100	4,15	1.040,1	8.340	8,02

TABLA 5.12.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3740

Volumen inicial de barbotina: 2 l.

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
33,9	30	0,89	682,8	3.750	5,49
93,3	120	1,29	724,6	4.200	5,80
134,8	210	1,56	764,8	4.670	6,11
167,8	300	1,79	807,1	5.160	6,40
212,9	450	2,11	854,9	5.760	6,74
251,2	600	2,49	895,9	6.300	7,03
291,1	780	2,68	940,9	6.930	7,37
335,8	1.005	2,99	967,6	7.320	7,57
375,9	1.230	3,27	1.011,5	7.980	7,89
419,3	1.500	3,58	1.057,9	8.700	8,22
461,0	1.795	3,89	1.102,0	9.420	8,55
507,6	2.145	4,23	1.144,4	10.140	8,86
551,3	2.505	4,54	1.188,7	10.920	9,19
593,8	2.880	4,85	1.218,7	11.460	9,40
638,2	3.300	5,17	1.260,4	12.240	9,71

TABLA 5.13.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3208

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
41,4	30	0,73	525,1	1.650	3,14
116,3	120	1,03	555,2	1.830	3,30
149,8	180	1,20	583,8	2.010	3,44
178,9	240	1,34	614,0	2.205	3,59
203,5	300	1,47	644,0	2.415	3,75
231,1	375	1,62	672,8	2.625	3,90
262,4	465	1,77	701,2	2.835	4,04
288,8	555	1,92	729,5	3.060	4,19
318,6	660	2,07	758,7	3.300	4,35
349,8	780	2,23	787,0	3.540	4,50
378,9	900	2,38	815,4	3.780	4,64
405,4	1.020	2,52	842,2	4.020	4,77
433,0	1.155	2,67	868,4	4.260	4,91
463,0	1.305	2,82	896,9	4.530	5,05
493,5	1.470	2,98	926,2	4.815	5,20

TABLA 5.14.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3356

Volumen inicial de barbotina: 1,7 l.

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
41,7	30	0,72	627,2	2.475	3,95
111,6	120	1,08	671,3	2.820	4,20
158,6	210	1,32	700,9	3.060	4,37
196,1	300	1,53	742,6	3.420	4,61
217,9	360	1,65	770,9	3.675	4,77
261,2	495	1,89	813,6	4.080	5,01
290,5	600	2,06	843,7	4.380	5,19
337,3	780	2,31	888,1	4.830	5,44
378,2	960	2,54	916,9	5.130	5,59
406,0	1.095	2,70	961,5	5.625	5,85
448,4	1.320	2,94	993,3	6.000	6,04
480,8	1.500	3,12	1.038,4	6.540	6,30
525,2	1.770	3,37	1.067,6	6.900	6,46
552,9	1.950	3,53	1.109,7	7.440	6,71
592,2	2.220	3,75	1.134,9	7.770	6,85

TABLA 5.15.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3216

Volumen inicial de barbotina: 2 l.

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,4	30	0,71	726,6	3.060	4,21
114,6	120	1,05	770,0	3.420	4,44
164,3	210	1,28	810,9	3.780	4,66
202,4	300	1,48	851,1	4.155	4,88
252,3	435	1,72	897,1	4.590	5,12
293,6	570	1,94	941,1	5.040	5,36
334,4	720	2,15	985,9	5.520	5,60
379,1	900	2,37	1.045,4	6.180	5,91
418,1	1.080	2,58	1.091,0	6.720	6,16
463,0	1.305	2,82	1.149,8	7.440	6,47
509,0	1.560	3,07	1.193,8	8.010	6,71
554,5	1.830	3,30	1.240,9	8.640	6,92
596,3	2.100	3,52	1.286,0	9.270	7,21
641,0	2.415	3,77	1.333,9	9.960	7,47
684,7	2.730	3,99	1.378,3	10.615	7,70

TABLA 5.16.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática

Granulometría: E-1

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4409

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
35,2	60	1,71	396,7	2.520	6,35
70,3	150	2,13	427,9	2.880	6,73
88,3	210	2,38	447,4	3.120	6,97
125,9	360	2,86	475,3	3.480	7,32
149,9	480	3,20	493,0	3.720	7,55
182,7	660	3,61	527,4	4.200	7,96
201,7	780	3,87	560,1	4.680	8,36
228,4	960	4,20	605,4	5.400	8,92
244,5	1.080	4,42	635,2	5.880	9,26
267,2	1.260	4,72	676,7	6.600	9,75
281,8	1.380	4,90	703,0	7.080	10,07
300,6	1.560	5,19	728,2	7.560	10,38
328,4	1.800	5,48	746,4	7.920	10,61
352,3	2.040	5,79	764,3	8.280	10,83
375,0	2.280	6,08	783,8	8.640	11.02

TABLA 5.17.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4263

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
35,0	60	1,71	546,5	4.200	7,69
93,2	210	2,25	571,0	4.560	7,99
117,5	300	2,55	594,9	4.920	8,27
158,4	480	3,03	624,8	5.400	8,64
192,3	660	3,43	656,0	5.940	9,06
222,2	840	3,78	687,6	6.480	9,42
249,0	1.020	4,10	716,8	7.020	9,79
274,6	1.200	4,37	745,5	7.560	10,14
311,4	1.500	4,82	772,1	8.100	10,49
345,2	1.800	5,21	798,2	8.640	10,82
372,4	2.070	5,56	822,8	9.180	11,16
404,6	2.400	5,93	848,4	9.720	11,46
446,9	2.880	6,44	879,8	10.440	11,87
476,3	3.240	6,80	910,0	11.160	12,26
512,7	3.720	7,26	960,9	12.300	12,80

TABLA 5.18.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3728

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
49,7	60	1,21	642,8	4.200	6,53
116,1	210	1,81	681,1	4.680	6,87
153,0	330	2,16	716,8	5.160	7,20
191,8	480	2,50	746,7	5.580	7,47
243,6	720	2,96	795,4	6.300	7,92
286,6	960	3,35	841,3	7.020	8,34
325,1	1.200	3,69	885,0	7.740	8,75
359,8	1.440	4,00	926,6	8.460	9,13
392,0	1.680	4,29	956,0	9.000	9,41
429,3	1.980	4,61	994,9	9.720	9,77
467,1	2.310	4,95	1.038,2	10.560	10,17
504,8	2.670	5,29	1.085,6	11.520	10,61
543,5	3.060	5,63	1.150,0	12.900	11,22
581,5	3.480	5,98	1.216,4	14.400	11.84
603,0	3.720	6,17	1.268,2	15.544	12,26

TABLA 5.19.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,2627

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
57,0	30	0,53	589,8	1.350	2,29
123,1	90	0,73	643,5	1.590	2,47
170,3	150	0,88	662,8	1.680	2,54
208,2	210	1,01	681,4	1.770	2,60
241,0	270	1,12	699,6	1.860	2,66
277,4	345	1,24	734,8	2.040	2,78
297,5	390	1,31	768,3	2.220	2,89
316,5	435	1,37	786,9	2.325	2,96
352,1	525	1,49	805,5	2.430	3,02
384,2	615	1,60	841,3	2.640	3,14
419,0	720	1,72	875,7	2.850	3,25
456,3	840	1,84	911,9	3.080	3,38
490,5	960	1,96	945,2	3.300	3,49
522,9	1.080	2,06	980,6	3.540	3,61
553,7	1.200	2,17	1.009,6	3.780	3,74

TABLA 5.20.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3614

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
41,4	30	0,73	498,4	1.633	3,28
88,4	90	1,02	531,8	1.860	3,50
123,6	150	1,21	547,9	1.965	3,59
152,6	210	1,38	565,7	2.085	3,69
183,8	285	1,55	599,7	2.325	3,88
216,3	375	1,73	631,9	2.565	4,06
253,9	495	1,95	649,6	2.700	4,16
271,1	555	2,05	666,6	2.835	4,25
287,3	615	2,14	683,3	2.970	4,35
321,3	750	2,33	715,3	3.240	4,53
356,5	900	2,52	749,6	3.540	4,72
391,6	1.065	2,72	782,4	3.840	4,91
426,8	1.245	2,92	816,9	4.170	5,11
443,6	1.335	3,01	850,6	4.505	5,30
462,6	1.440	3,11	867,7	4.630	5,39

TABLA 5.21.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4246

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
33,8	30	0,89	431,9	1.740	4,03
74,7	90	1,20	481,8	2.130	4,42
108,7	160	1,47	499,9	2.280	4,56
139,8	240	1,72	517,1	2.430	4,70
160,2	300	1,87	550,5	2.730	4,96
178,4	360	2,02	568,0	2.895	5,10
213,6	490	2,29	584,9	3.060	5,23
229,3	555	2,42	621,1	3.425	5,51
246,7	630	2,55	637,9	3.600	5,64
277,9	780	2,81	654,5	3.780	5,77
312,0	960	3,08	672,1	3.975	5,91
330,4	1.065	3,22	689,1	4.170	6,05
348,0	1.170	3,36	723,2	4.570	6,32
380,6	1.380	3,63	740,9	4.785	6,46
415,5	1.620	3,90	757,8	4.995	6,59

TABLA 5.22.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,2372

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
31,6	30	0,95	550,5	2.760	5,01
74,9	90	1,20	581,2	3.060	5,27
105,2	150	1,43	612,9	3.390	5,53
136,0	225	1,65	662,0	3.930	5,94
166,0	315	1,90	693,9	4.305	6,20
200,1	435	2,17	725,7	4.695	6,47
233,7	570	2,44	760,2	5.135	6,76
266,2	720	2,71	793,9	5.580	7,03
304,4	915	3,01	827,1	6.045	7,31
355,1	1.215	3,42	860,3	6.525	7,59
387,2	1.425	3,68	893,3	7.071	7,92
420,9	1.665	3,96	943,0	7.800	8,27
452,3	1.905	4,21	990,8	8.580	8,66
485,0	2.175	4,48	1.038,3	9.390	9,04
517,8	2.460	4,75	1.074,0	10.020	9,33

TABLA 5.23.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3400

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
39,4	60	1,52	490,4	3.960	8,07
84,5	180	2,13	521,8	4.470	8,57
116,7	300	2,57	554,5	5.010	9,04
149,8	455	3,04	586,3	5.580	9,52
180,5	630	3,49	622,2	6.255	10,05
212,6	840	3,95	652,1	6.840	10,49
244,0	1.080	4,43	668,0	7.170	10,73
276,2	1.350	4,89	703,2	7.920	11,26
307,9	1.650	5,36	735,7	8.640	11,74
339,8	1.980	5,83	767,2	9.360	12,20
356,0	2.160	6,07	800,0	10.150	12,69
388,5	2.550	6,56	833,2	10.980	13,18
421,3	2.970	7,05	862,5	11.730	13,60
454,1	3.420	7,53	894,4	12.570	14,05
473,5	3.705	7,83	928,4	13.500	14,54

TABLA 5.24.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4127

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
15,0	30	2,00	459,0	4.905	10,69
41,7	90	2,16	474,4	5.220	11,00
68,3	180	2,63	507,2	5.940	11,71
112,1	390	3,48	523,1	6.300	12,04
140,5	570	4,06	538,2	6.600	12,38
168,6	780	4,63	568,7	7.395	13,00
198,1	1.035	5,23	598,8	8.175	13,65
226,8	1.320	5,82	629,5	9.000	14,30
256,4	1.650	6,44	660,4	9.870	14,95
286,5	2.025	7,07	691,5	10.800	15,62
316,2	3.430	7,69	722,6	11.760	16,28
350,7	2.945	8,40	754,2	12.780	16,95
379,6	3.420	9,01	784,5	13.800	17,59
410,9	3.975	9,67	813,9	14.820	18,21
443,2	4.590	10,36	831,7	15.455	18,58

TABLA 5.25.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $3,924 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4051

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
32,9	60	1,82	423,6	2.760	6,52
98,0	240	2,45	448,8	3.060	6,82
139,5	420	3,01	477,5	3.420	7,16
175,1	600	3,43	499,5	3.720	7,45
205,0	780	3,80	525,5	4.080	7,76
231,9	960	4,14	550,2	4.440	8,07
256,3	1.140	4,45	574,5	4.800	8,36
278,8	1.320	4,74	596,8	5.160	8,65
300,1	1.500	5,00	639,7	5.880	9,19
320,2	1.680	5,25	662,8	6.360	9,54
339,5	1.860	5,48	693,2	6.840	9,87
357,1	2.040	5,71	720,3	7.380	10,25
375,2	2.220	5,92	747,5	7.920	10,60
391,9	2.400	6,12	765,1	8.280	10,82
408,3	2.580	6,32	787,3	8.640	10,97

TABLA 5.26.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4447

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
22,9	30	1,31	435,9	2.520	5,78
67,4	120	1,78	458,8	2.760	6,02
138,7	360	2,60	469,7	2.880	6,13
166,4	480	2,89	493,3	3.150	6,40
190,3	600	3,15	519,2	3.450	6,64
212,0	720	3,40	542,7	3.750	6,91
234,4	855	3,65	566,3	4.050	7,15
251,1	960	3,82	589,1	4.350	7,38
277,3	1.140	4,11	610,4	4.650	7,62
298,4	1.290	4,32	631,6	4.950	7,84
321,9	1.470	4,57	654,6	5.280	8,07
343,6	1.650	4,80	666,3	5.460	8,20
367,9	1.860	5,06	690,0	5.820	8,43
390,7	2.070	5,30	712,3	6.180	8,68
412,0	2.280	5,53	735,4	6.480	8,81

TABLA 5.27.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $8,829 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3669

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
37,4	30	0,80	571,7	2.520	4,41
82,4	90	1,09	617,0	2.910	4,72
128,7	180	1,40	645,1	3.165	4,91
153,2	240	1,57	690,9	3.600	5,21
189,5	345	1,82	720,3	3.900	5,41
215,9	435	2,02	763,0	4.350	5,70
260,5	600	2,30	792,4	4.680	5,91
300,9	780	2,59	823,9	5.040	6,12
325,8	900	2,76	854,2	5.400	6,32
369,3	1.125	3,05	897,0	5.940	6,62
398,2	1.290	3,24	925,3	6.300	6,81
441,4	1.560	3,53	971,7	6.930	7,13
468,8	1.740	3,71	1.001,9	7.350	7,34
499,0	1.950	3,91	1.030,9	7.770	7,54
542,7	2.280	4,20	1.059,0	8.190	7,73

TABLA 5.28.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4342

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
39,6	30	0,76	429,8	1.710	3,98
85,6	90	1,05	460,0	1.950	4,24
116,5	150	1,29	488,9	2.190	4,48
140,5	210	1,49	519,0	2.460	4,74
171,4	300	1,75	533,7	2.595	4,86
197,5	390	1,98	547,8	2.730	4,98
227,6	510	2,24	578,7	3.030	5,24
254,5	630	2,48	607,8	3.330	5,48
270,4	705	2,61	623,1	3.495	5,61
285,0	780	2,74	638,3	3.660	5,73
312,7	930	2,97	667,5	3.990	5,98
342,7	1.110	3,24	698,1	4.350	6,23
371,3	1.290	3,47	713,1	4.530	6,35
386,6	1.395	3,61	727,4	4.710	6,48
401,6	1.500	3,74	757,9	5.100	6,73

Como ejemplo de la concordancia con la ecuación (2-24) en la figura 5.2. se ha hecho la representación gráfica de las tablas 5.10 y 5.27. Puede observarse que efectivamente, se obtiene una recta de pendiente positiva.

Por último para comprobar la existencia de una dependencia de la resistencia específica y de la porosidad de la torta con la granulometría se realizaron tres experimentos, en los cuales se mantuvieron constantes todas las variables, salvo la granulometría de la muestra.

Los experimentos se detallan en las tablas 5.13, 5.29 y 5.30.

Las distribuciones granulométricas de las muestras empleadas se detallan en las tablas 5.1, 5.31 y 5.32, estando representadas en las figuras 5.1, 5.3 y 5.4.

## 5.2. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA BARBOTINA FELDESPÁTICA II.

Para obtener la información necesaria que permitiera cuantificar el comportamiento de la barbotina en la filtración se efectuó un conjunto de experimentos variando los parámetros que influían en el proceso (presión y granulometría).

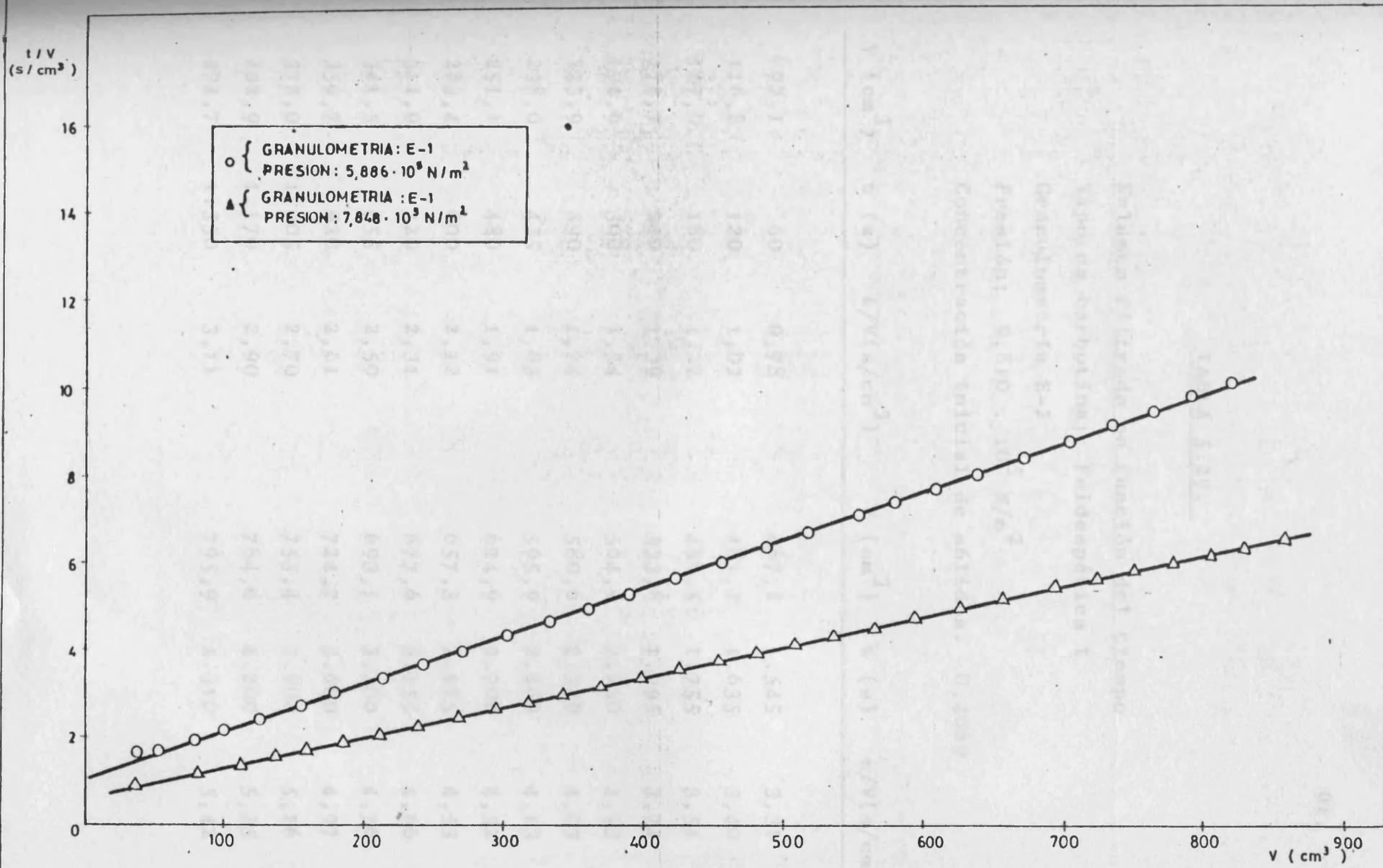


FIG. 5.2. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina feldeespática I.

TABLA 5.29.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría E-2

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4069

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
77,1	60	0,78	467,2	1.545	3,31
116,8	120	1,02	481,2	1.635	3,40
147,0	180	1,22	499,5	1.755	3,51
172,7	240	1,39	533,8	1.995	3,74
194,6	300	1,54	564,9	2.220	3,93
223,9	390	1,74	580,6	2.340	4,03
238,0	435	1,83	595,9	2.460	4,13
251,1	480	1,91	624,9	2.700	4,32
283,4	600	2,12	657,3	2.975	4,53
311,9	720	2,31	677,6	3.155	4,66
341,5	855	2,50	693,1	3.300	4,76
356,7	930	2,61	724,7	3.600	4,97
372,0	1.005	2,70	755,4	3.900	5,16
402,9	1.170	2,90	784,6	4.200	5,35
434,7	1.350	3,11	795,9	4.310	5,42

TABLA 5.30.

Volumen filtrado en función del tiempo

Granulometría: E-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4054

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
57,2	30	0,52	478,2	1.350	2,82
110,5	90	0,81	494,5	1.440	2,91
148,4	150	1,01	525,7	1.620	3,08
177,1	210	1,19	555,3	1.800	3,24
203,0	270	1,33	586,3	1.995	3,40
232,0	345	1,49	602,0	2.100	3,50
262,3	435	1,66	617,5	2.205	3,57
294,3	540	1,84	647,3	2.415	3,73
327,8	660	2,01	661,5	2.520	3,81
358,5	780	2,18	677,5	2.640	3,90
372,7	840	2,25	708,6	2.880	4,06
386,4	900	2,33	738,5	3.120	4,22
402,8	975	2,42	753,0	3.240	4,30
431,2	1.125	2,61	767,3	3.360	4,38
463,9	1.275	2,75	780,2	3.470	4,45

TABLA 5.31

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática I

Muestra: E-2

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,08%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
77,17	23,86
66,42	14,50
57,99	9,44
50,98	6,99
46,06	5,52
39,78	4,13
33,39	2,81
33,29	2,56

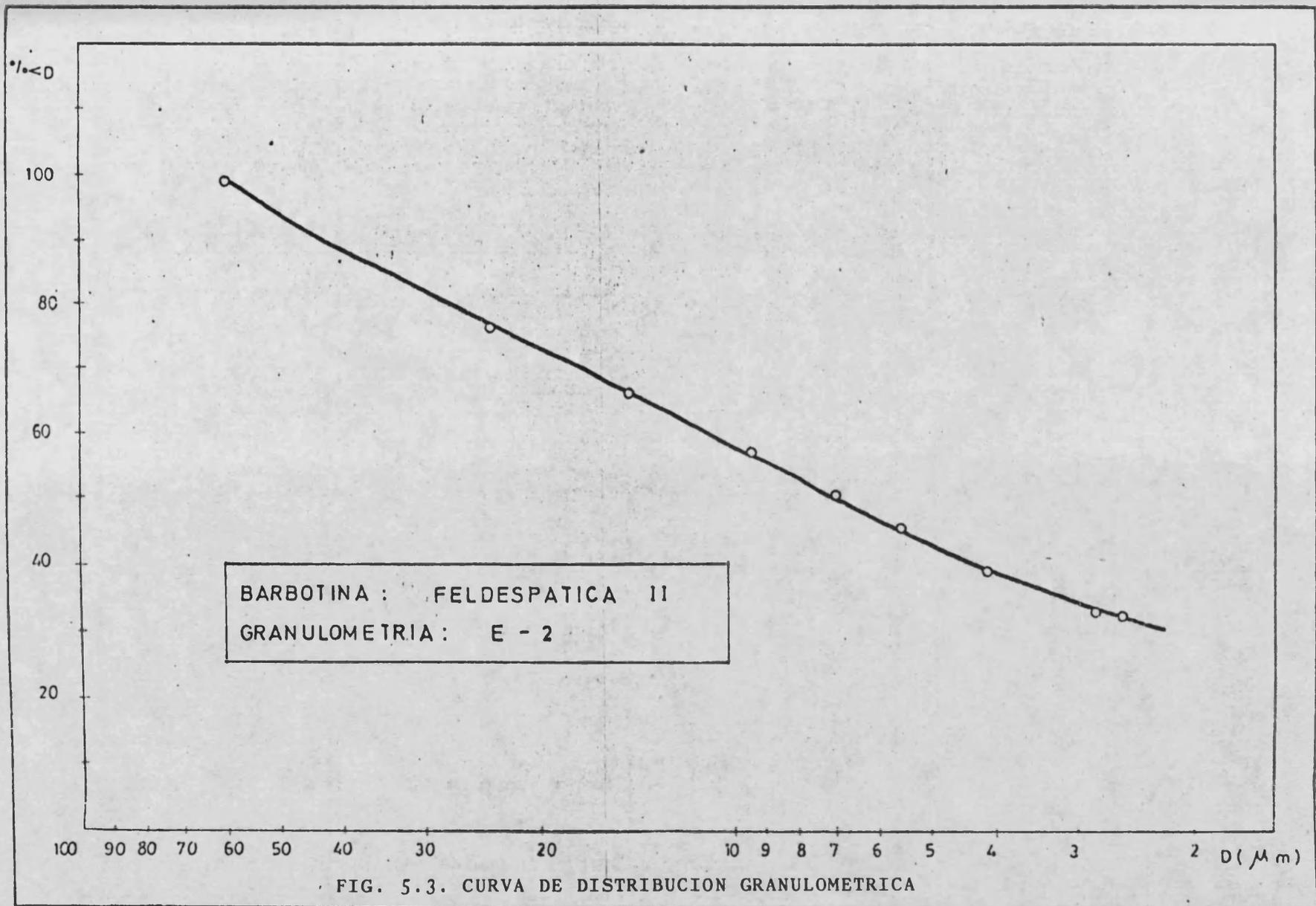


TABLA 5.32

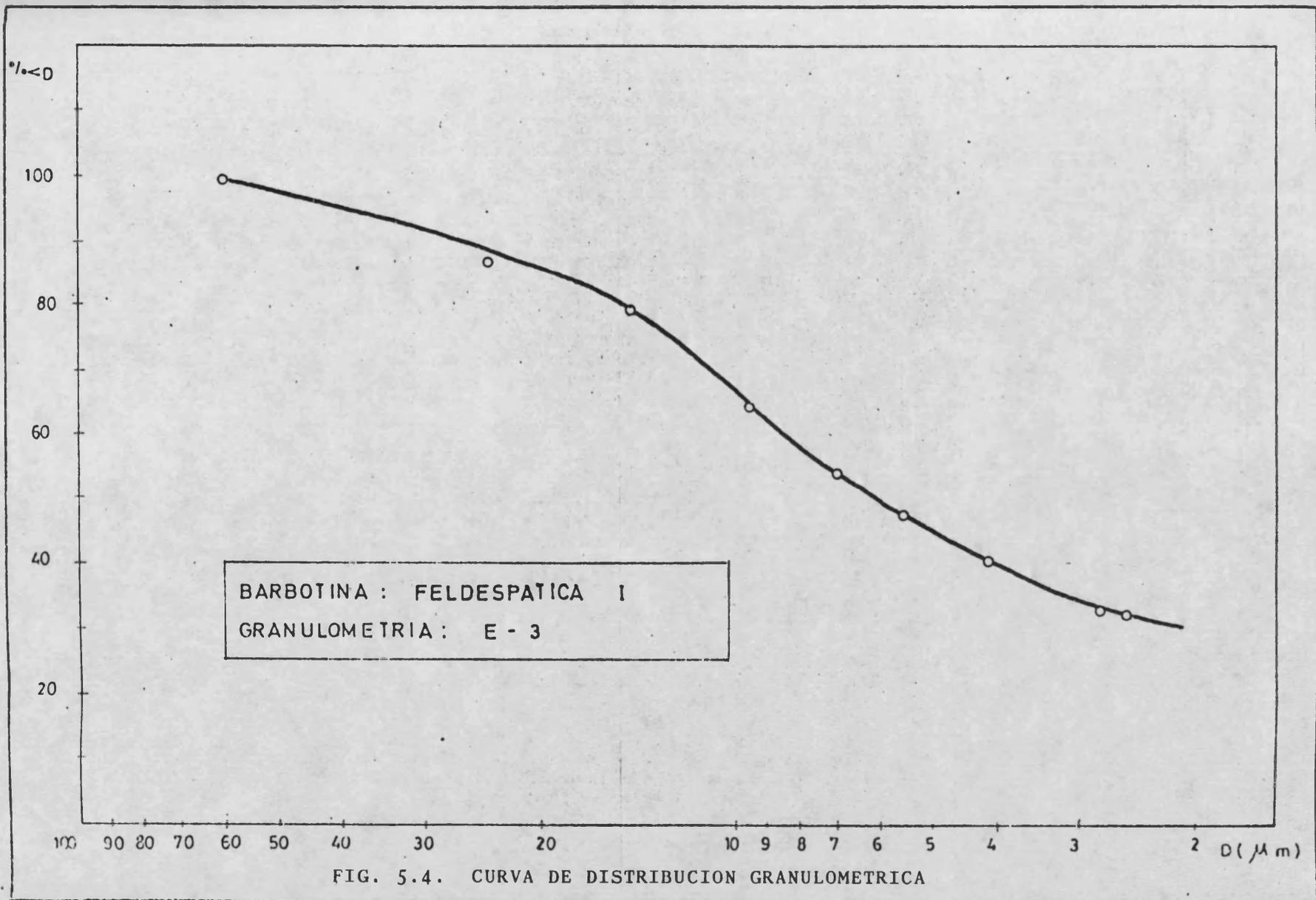
## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática I

Muestra: E-3

Rechazo tamiz 60  $\mu$  m = 0,04%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu$ m)
87,40	23,86
79,64	14,46
64,41	9,39
54,20	6,96
47,95	5,51
41,05	4,12
33,39	2,78
32,54	2,54



La sistemática utilizada para variar los citados parámetros fué la siguiente:

- Obtención de 7 granulometrías distintas por medio de molienda. Se numeraron por orden creciente de tiempos de molienda.
- Realización de un mínimo de cuatro filtraciones a presiones distintas, para cada una de las granulometrías citadas en el párrafo anterior.

El número total de experimentos realizados fue de 31, valor que permite utilizar la teoría estadística de pequeñas muestras.

Las tablas 5.34 a 5.64 recogen los valores de  $t/V$  en función de  $V$  correspondientes a los distintos experimentos.

Las granulometrías de las diferentes series realizadas aparecen detalladas en las tablas 5.65 a 5.71, y se han representado en las figuras 5.5 a 5.11.

Para cada una de las granulometrías se ha representado gráficamente un experimento como ejemplo del cumplimiento de la ecuación (2-24).

TABLA 5.34.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-I

Presión:  $2,943 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3025

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
20,5	35	1,71	534,0	5.235	9,80
61,5	125	2,03	556,8	5.670	10,18
102,9	270	2,62	604,7	6.660	11,01
144,9	480	3,31	643,9	7.530	11,69
188,2	760	4,04	663,5	7.980	12,03
229,3	1.085	4,73	683,4	8.460	12,38
249,7	1.260	5,05	723,4	9.465	13,08
270,1	1.450	5,37	764,5	10.560	13,81
310,6	1.875	6,04	785,0	11.130	14,18
350,3	2.355	6,72	804,9	11.700	14,54
389,1	2.880	7,40	845,4	12.900	15,26
410,3	3.180	7,75	884,8	14.130	15,97
430,6	3.480	8,08	925,0	15.420	16,67
470,4	4.110	8,74	964,6	16.710	17,32
513,8	4.860	9,46	983,5	17.265	17,55

TABLA 5.35.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-I

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3678

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
24,3	30	1,24	485,0	4.410	9,09
59,8	105	1,76	505,0	4.780	9,47
99,4	240	2,41	545,3	5.550	10,18
139,5	435	3,12	566,1	5.970	10,55
180,8	690	3,82	586,5	6.400	10,91
220,2	990	4,50	626,6	7.270	11,60
240,4	1.170	4,87	666,9	8.190	12,28
260,9	1.365	5,23	693,7	8.840	12,74
300,3	1.770	5,89	713,9	9.343	13,09
319,9	1.995	6,24	760,7	10.585	13,92
339,4	2.235	6,59	780,4	11.130	14,26
379,7	2.790	7,35	800,4	11.685	14,60
401,6	3.090	7,69	840,1	12.840	15,28
422,4	3.390	8,03	880,2	14.070	15,98
462,5	4.020	8,69	888,2	15.480	17,42

TABLA 5.36.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3679

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
19,4	30	1,55	460,8	3.600	7,81
60,0	120	2,00	505,0	4.275	8,47
100,0	255	2,55	524,6	4.590	8,75
139,3	435	3,12	546,6	4.950	9,06
178,5	660	3,70	586,6	5.655	9,64
199,1	795	3,99	606,9	6.030	9,94
218,1	930	4,26	627,4	6.420	10,23
257,3	1.245	4,84	668,2	7.230	10,82
277,6	1.425	5,13	688,4	7.650	11,11
298,0	1.620	5,44	709,5	8.100	11,42
339,0	2.040	6,02	751,2	9.030	12,02
359,0	2.265	6,31	771,8	9.510	12,32
379,4	2.505	6,60	792,0	9.990	12,61
420,3	3.030	7,21	832,2	10.980	13,19
439,8	3.300	7,50	858,8	11.610	13,52

TABLA 5.37.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

Presión:  $8,829 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3687

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
24,0	30	1,25	524,8	3.885	7,40
61,0	100	1,64	564,9	4.470	7,91
100,0	210	2,10	585,0	4.785	8,18
149,8	405	2,70	604,9	5.100	8,43
190,8	615	3,22	645,3	5.775	8,95
232,3	870	3,74	665,0	6.120	9,20
252,1	1.005	4,24	685,0	6.480	9,46
315,8	1.510	4,78	727,9	7.290	10,02
335,0	1.680	5,02	750,6	7.730	10,30
354,2	1.860	5,25	777,7	8.280	10,65
395,4	2.280	5,77	797,7	8.700	10,91
417,3	2.520	6,04	818,9	9.150	11,17
439,2	2.775	6,32	839,1	9.600	11,44
485,0	3.345	6,90	859,5	10.050	11,69
505,2	3.615	7,16	873,3	10.365	11,87

TABLA 5.38.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

Presión:  $10,791 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Concentración inicial de sólidos: 0,3683



$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
28,6	30	1,05	454,9	2.535	5,57
70,9	100	1,41	496,9	3.000	6,04
112,9	210	1,86	538,3	3.495	6,49
154,9	360	2,32	563,3	3.815	6,77
176,1	450	2,56	583,4	4.080	6,99
197,3	550	2,79	625,9	4.680	7,48
219,5	665	3,03	646,5	4.980	7,70
240,0	780	3,25	666,1	5.280	7,93
279,9	1.030	3,68	711,1	6.000	8,44
300,0	1.170	3,90	731,6	6.345	8,67
310,4	1.320	4,12	753,7	6.720	8,92
310,9	1.480	4,34	793,8	7.440	9,37
311,7	1.650	4,56	813,2	7.800	9,59
312,3	1.830	4,79	833,5	8.190	9,83
414,4	2.325	5,35	861,6	8.700	10,10

TABLA 5.39.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Concentración inicial de sólidos: 0,3580

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
22,7	30	1,32	466,6	3.285	7,04
65,5	120	1,83	486,5	3.555	7,31
106,4	250	2,35	527,5	4.140	7,85
126,3	330	2,61	548,6	4.460	8,13
146,7	420	2,83	568,4	4.770	8,39
186,8	630	3,37	608,4	5.430	8,93
206,7	750	3,63	629,0	5.790	9,21
226,6	880	3,88	649,2	6.150	9,47
267,4	1.185	4,43	692,9	6.975	10,07
287,5	1.360	4,70	712,6	7.365	10,34
307,8	1.530	4,97	734,0	7.800	10,63
348,1	1.910	5,49	775,2	8.670	11,18
377,9	2.220	5,88	795,5	9.120	11,46
398,2	2.445	6,14	815,7	9.570	11,73
438,4	2.925	6,67	854,1	10.390	12,17

TABLA 5.40.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3571

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
30,0	30	1,00	488,0	2.880	5,90
70,3	95	1,31	508,6	3.120	6,13
113,4	205	1,81	528,6	3.360	6,36
153,9	345	2,24	569,0	3.870	6,80
171,8	420	2,45	609,9	4.425	7,25
191,5	510	2,66	652,5	5.040	7,72
232,0	720	3,10	672,1	5.340	7,95
274,7	975	3,55	694,9	5.700	8,20
294,7	1.110	3,77	735,2	6.360	8,65
315,3	1.260	4,00	756,2	6.720	8,89
332,9	1.395	4,19	776,7	7.080	9,12
353,5	1.560	4,41	816,7	7.815	9,57
395,9	1.935	4,89	838,0	8.220	9,81
416,8	2.130	5,11	859,5	8.640	10,05
436,3	2.325	5,33	888,3	9.180	10,33

TABLA 5.41.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3658

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
33,3	30	0,90	479,3	2.640	5,51
75,8	95	1,25	523,0	3.120	5,97
116,6	195	1,67	542,2	3.360	6,20
160,2	345	2,15	566,2	3.630	6,41
182,0	435	2,39	614,1	4.245	6,91
205,1	540	2,63	635,2	4.530	7,13
250,9	780	3,11	654,4	4.800	7,34
274,3	920	3,35	676,0	5.115	7,57
295,0	1.055	3,58	699,0	5.460	7,81
343,9	1.425	4,14	722,1	5.820	8,06
370,3	1.620	4,38	743,3	6.180	8,31
391,6	1.800	4,60	788,4	6.900	8,75
411,6	1.980	4,81	808,9	7.260	8,98
434,2	2.190	5,04	831,0	7.650	9,21
455,7	2.400	5,27	859,7	8.160	9,49

TABLA 5.42.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3568

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
34,6	30	0,22	494,4	2.280	4,61
80,6	95	1,18	535,4	2.655	4,96
119,2	180	1,51	555,7	2.850	5,13
161,7	300	1,86	576,6	3.060	5,31
200,1	435	2,17	617,9	3.495	5,66
227,1	545	2,40	640,7	3.750	5,85
247,7	635	2,56	661,7	3.990	6,03
287,3	830	2,89	713,8	4.620	6,47
308,3	945	3,06	733,9	4.880	6,65
328,9	1.065	3,24	754,1	5.140	6,82
369,5	1.320	3,57	793,9	5.685	7,16
389,2	1.455	3,74	813,9	5.970	7,34
410,1	1.605	3,91	834,8	6.275	7,52
452,6	1.930	4,26	874,4	6.870	7,86
473,4	2.100	4,44	886,5	7.050	7,95

TABLA 5.43.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3633

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
35,8	30	0,84	490,3	2.190	4,47
79,7	90	1,13	530,3	2.550	4,81
121,0	175	1,45	551,5	2.745	4,98
161,6	285	1,76	571,2	2.940	5,15
201,5	420	2,08	612,0	3.360	5,49
222,1	500	2,25	634,0	3.600	5,68
242,3	585	2,41	655,5	3.840	5,86
283,7	780	2,75	696,4	4.320	6,20
303,5	885	2,92	717,0	4.575	6,38
325,0	1.005	3,09	737,0	4.830	6,55
366,8	1.260	3,44	778,3	5.370	6,90
387,0	1.395	3,61	797,9	5.640	7,07
408,2	1.545	3,79	819,2	5.940	7,25
450,3	1.860	4,13	860,2	6.540	7,60
470,5	2.025	4,30	892,4	6.940	7,78

TABLA 5.44.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3756

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
27,1	30	1,11	452,0	3.090	6,84
73,5	120	1,63	473,6	3.390	7,16
116,7	255	2,19	503,2	3.810	7,57
137,7	345	2,51	527,2	4.170	7,91
161,0	450	2,80	569,7	4.830	8,48
204,3	700	3,43	591,1	5.190	8,78
225,1	840	3,73	611,9	5.550	9,07
246,6	990	4,01	654,6	6.330	9,67
268,0	1.155	4,31	674,6	6.720	9,96
295,3	1.380	4,67	695,6	7.140	10,26
315,1	1.560	4,95	737,9	8.040	10,90
339,7	1.870	5,51	762,1	8.550	11,22
388,0	2.310	5,95	782,1	9.000	11,51
408,9	2.550	6,24	823,0	9.960	12,10
430,9	2.820	6,54	843,6	10.500	12,45

TABLA 5.45.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3734

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
31,8	30	0,94	483,7	2.790	5,77
72,2	95	1,32	505,0	3.030	6,00
105,8	175	1,65	525,0	3.270	6,23
145,2	300	2,07	565,4	3.780	6,69
167,3	380	2,27	586,4	4.065	6,93
188,0	460	2,45	606,5	4.350	7,17
227,7	660	2,90	627,0	4.650	7,42
248,7	780	3,14	648,0	4.965	7,66
268,4	900	3,35	668,5	5.280	7,90
310,2	1.180	3,80	693,5	5.670	8,18
330,9	1.335	4,03	734,6	6.345	8,64
351,6	1.500	4,27	755,1	6.690	8,86
392,9	1.860	4,73	775,5	7.050	9,09
413,2	2.055	4,97	797,5	7.455	9,35
435,3	2.505	5,48	809,7	7.650	9,49

TABLA 5.46.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

Presión:  $7,848 \cdot 10^5$

Concentración inicial de sólidos: 0,3793

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	v (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
36,5	30	0,82	483,4	2.730	5,65
78,5	95	1,21	505,1	2.970	5,88
121,7	205	1,68	527,0	3.225	6,12
163,7	345	2,11	551,6	3.520	6,38
187,7	450	2,40	573,2	3.795	6,62
208,9	550	2,63	619,0	4.405	7,11
251,9	780	3,10	639,4	4.710	7,37
271,7	900	3,31	663,5	5.040	7,60
292,4	1.035	3,54	704,7	5.670	8,05
313,8	1.185	3,78	725,0	6.000	8,28
340,2	1.395	4,10	747,0	6.360	8,51
360,3	1.545	4,29	768,1	6.720	8,75
381,3	1.725	4,52	790,7	7.115	9,00
442,5	2.320	5,24	812,0	7.500	9,24
463,9	2.520	5,43	837,4	7.985	9,54

TABLA 5.47

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría F-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3800

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
35,2	30	0,85	451,7	2.100	4,65
81,1	95	1,17	473,3	2.295	4,85
130,2	210	1,61	493,5	2.490	5,05
170,9	345	2,02	515,4	2.710	5,26
190,4	420	2,21	536,7	2.940	5,48
211,8	510	2,41	560,3	3.180	5,68
233,7	615	2,63	581,7	3.420	5,88
257,1	725	2,82	603,7	3.675	6,09
278,4	840	3,02	632,3	4.025	6,37
298,8	960	3,21	657,8	4.350	6,61
342,6	1.260	3,68	678,3	4.620	6,81
365,9	1.410	3,85	703,4	4.965	7,06
386,4	1.560	4,04	744,6	5.590	7,51
407,6	1.725	4,23	769,7	5.925	7,70
431,0	1.920	4,46	784,7	6.145	7,83

TABLA 5.48.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3932

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
41,7	30	0,72	494,0	2.280	4,62
93,9	105	1,12	513,4	2.460	4,79
137,6	210	1,53	533,5	2.655	4,98
179,7	335	1,86	558,2	2.895	5,19
199,2	405	2,03	581,3	3.135	5,40
220,7	490	2,22	603,6	3.375	5,59
243,7	600	2,46	625,2	3.615	5,78
271,3	720	2,65	646,1	3.855	5,97
294,1	840	2,86	667,4	4.110	6,16
315,6	960	3,04	689,5	4.380	6,35
337,5	1.100	3,26	710,5	4.650	6,55
359,1	1.230	3,43	732,2	4.935	6,74
381,1	1.380	3,62	755,7	5.250	6,95
402,0	1.530	3,81	783,5	5.640	7,20
471,9	2.085	4,42	806,8	5.975	7,41

TABLA 5.49.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldeespática II

Granulometría: F-4

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3890

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
19,5	35	1,80	431,4	3.315	7,68
62,3	130	2,09	453,4	3.635	8,02
101,3	270	2,67	474,7	3.960	8,34
121,5	360	2,96	495,3	4.290	8,66
141,8	465	3,28	518,8	4.680	9,02
174,9	660	3,77	539,8	5.040	9,34
192,6	780	4,05	561,4	5.430	9,67
213,2	930	4,36	612,3	6.348	10,36
257,1	1.290	5,02	635,1	7.050	11,10
278,0	1.485	5,34	665,1	7.500	11,28
299,2	1.695	5,66	678,0	7.785	11,48
343,0	2.175	6,34	691,0	8.070	11,68
364,8	2.430	6,66	713,6	8.580	12,02
386,2	2.700	6,99	733,9	9.060	12,35
407,9	2.985	7,32	773,2	9.995	12,93

TABLA 5.50.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-4

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3683

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
26,3	30	1,14	456,6	2.400	5,26
68,7	100	1,46	497,9	2.820	5,66
112,3	210	1,87	518,7	3.045	5,87
152,2	345	2,27	538,7	3.270	6,07
170,6	420	2,46	582,1	3.780	6,49
191,1	510	2,67	603,5	4.050	6,71
236,0	735	3,11	624,3	4.320	6,92
257,9	855	3,32	647,0	4.620	7,14
280,0	990	3,54	668,6	4.920	7,36
300,7	1.125	3,74	692,6	5.325	7,69
322,1	1.275	3,96	713,8	5.580	7,82
344,7	1.440	4,18	760,3	6.300	8,29
368,3	1.620	4,40	782,6	6.660	8,51
411,1	1.980	4,82	804,1	7.020	8,73
434,2	2.190	5,04	837,5	7.580	9,05

TABLA 5.51.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-4

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3685

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
37,1	30	0,81	431,4	1.860	4,31
79,8	90	1,13	452,8	2.040	4,51
120,7	180	1,49	474,8	2.235	4,71
166,1	315	1,90	494,2	2.430	4,92
186,8	390	2,09	526,4	2.730	5,19
209,2	480	2,29	561,1	3.090	5,51
229,9	570	2,48	583,1	3.330	5,71
257,9	705	2,73	604,3	3.570	5,91
277,6	810	2,92	649,3	4.110	6,33
299,0	930	3,11	670,5	4380	6,53
318,8	1.050	3,29	694,0	4.685	6,75
340,5	1.200	3,52	715,7	4.980	6,96
365,8	1.360	3,72	739,9	5.340	7,22
387,3	1.515	3,91	766,4	5.700	7,44
409,7	1.685	4,11	776,5	5.850	7,53

TABLA 5.52.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-4

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3680

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
56,8	35	0,62	472,5	1.785	3,78
98,2	90	0,92	493,9	1.950	3,95
141,4	180	1,27	537,3	2.310	4,30
188,2	300	1,59	562,8	2.520	4,48
211,5	375	1,77	585,9	2.730	4,66
232,6	450	1,94	608,1	2.940	4,84
260,6	560	2,15	629,5	3.150	5,00
281,6	650	2,31	673,5	3.600	5,35
303,0	750	2,48	695,8	3.840	5,52
324,5	855	2,64	717,2	4.080	5,69
347,0	975	2,81	741,5	4.380	5,91
368,2	1.095	2,97	763,7	4.620	6,05
409,6	1.350	3,30	785,7	4.890	6,22
430,2	1.485	3,45	807,0	5.160	6,39
451,9	1.635	3,62	844,7	5.670	6,71

TABLA 5.53.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-5

Presión:  $4,905 \cdot 10^5$

Concentración inicial de sólidos: 0,3620

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
30,3	30	0,99	494,7	2.895	5,85
72,8	100	1,37	515,7	3.135	6,08
112,2	200	1,78	559,2	3.665	6,55
152,5	335	2,20	586,4	4.020	6,86
195,4	515	2,64	606,4	4.290	7,08
238,3	735	3,08	648,5	4.890	7,54
269,1	915	3,40	668,4	5.190	7,77
299,6	1.050	3,63	688,7	5.505	7,99
311,1	1.200	3,86	728,6	6.150	8,44
331,4	1.350	4,07	748,4	6.480	8,66
352,3	1.515	4,30	768,9	6.840	8,90
392,8	1.860	4,74	808,8	7.560	9,35
413,6	2.055	4,97	829,0	7.935	9,57
433,7	2.250	5,19	850,4	8.340	9,81
474,5	2.670	5,63	876,8	8.855	10,10

TABLA 5.54.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-5

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3615

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
41,1	30	0,73	458,9	1.800	3,92
90,6	90	0,99	481,8	1.980	4,11
134,7	180	1,34	505,6	2.175	4,30
182,5	310	1,70	528,4	2.370	4,49
203,5	380	1,87	550,4	2.565	4,66
226,8	465	2,05	571,4	2.760	4,83
249,3	555	2,23	593,3	2.970	5,01
272,9	660	2,42	615,6	3.195	5,19
294,9	765	2,59	659,9	3.660	5,55
317,9	885	2,78	681,3	3.900	5,72
338,3	1.005	2,97	704,9	4.170	5,92
362,7	1.140	3,14	724,0	4.410	6,08
389,5	1.300	3,34	771,9	4.995	6,47
411,3	1.455	3,54	800,7	5.375	6,71
434,1	1.620	3,73	823,8	5.690	6,91

TABLA 5.55.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-5

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3637

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,3	30	0,71	439,9	1.590	3,61
92,4	95	1,03	493,7	1.980	4,01
134,4	180	1,34	516,1	2.160	4,19
180,4	305	1,69	539,6	2.360	4,37
201,8	375	1,86	565,9	2.585	4,57
223,1	450	2,02	594,7	2.850	4,79
245,0	540	2,20	639,6	3.285	5,14
268,3	630	2,35	660,9	3.495	5,29
288,6	720	2,50	682,6	3.720	5,45
310,4	825	2,66	705,1	3.960	5,62
331,0	930	2,81	726,9	4.200	5,78
353,5	1.050	2,97	748,6	4.445	5,94
374,4	1.170	3,13	768,4	4.680	6,09
396,9	1.305	3,29	805,2	5.130	6,37
418,0	1.440	3,45	828,8	5.430	6,55

TABLA 5.56.

Volumen filtrado en función del tiempo

Granulometría: F-5

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3616

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
53,0	30	0,57	513,9	1.710	3,33
105,0	90	0,86	536,4	1.860	3,47
148,0	165	1,12	558,5	2.010	3,60
194,1	270	1,39	579,4	2.160	3,73
216,6	330	1,52	601,6	2.325	3,87
236,5	390	1,65	626,9	2.520	4,02
257,4	455	1,77	652,0	2.720	4,17
277,5	525	1,89	697,3	3.105	4,45
320,4	690	2,15	719,2	3.300	4,59
340,7	780	2,29	740,7	3.510	4,74
368,4	900	2,44	764,3	3.720	4,87
400,3	1.055	2,64	785,6	3.930	5,00
422,3	1.170	2,77	807,9	4.155	5,14
442,8	1.290	2,91	829,7	4.380	5,28
470,5	1.440	3,06	849,6	4.590	5,40

TABLA 5.57.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-6

Presión:  $4,905 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3781

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
41,0	30	0,73	509,5	3.090	6,06
63,2	60	0,95	532,2	3.395	6,32
131,0	225	1,72	555,5	3.660	6,59
175,4	390	2,22	584,7	4.050	6,93
195,7	480	2,45	607,1	4.365	7,19
216,7	585	2,70	650,9	5.010	7,70
239,1	705	2,95	672,2	5.340	7,94
262,2	840	3,20	696,4	5.730	8,23
285,2	990	3,47	717,9	6.090	8,48
326,7	1.290	3,95	741,0	6.495	8,77
351,3	1.480	4,21	765,2	6.910	9,03
373,8	1.680	4,49	787,5	7.320	9,30
418,7	2.100	5,02	809,5	7.740	9,56
439,4	2.310	5,26	833,6	8.145	9,77
465,0	2.580	5,55	851,9	8.565	10,05

TABLA 5.58.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Fel despática II

Granulometría: F-6

Presión:  $7,848 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3889

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
40,2	35	0,87	464,9	2.100	4,52
82,8	100	1,21	485,2	2.280	4,70
132,2	215	1,63	527,1	2.670	5,07
177,6	360	2,03	548,9	2.880	5,25
201,4	450	2,23	569,4	3.090	5,43
226,2	555	2,45	611,3	3.540	5,79
249,2	660	2,65	632,5	3.780	5,98
272,9	780	2,86	655,6	4.050	6,18
295,1	900	3,05	677,6	4.320	6,38
315,9	1.020	3,23	699,6	4.590	6,56
338,0	1.155	3,42	721,0	4.860	6,74
381,2	1.440	3,78	741,5	5.145	6,94
401,8	1.590	3,96	763,5	5.430	7,11
423,2	1.755	4,15	786,6	5.760	7,32
442,6	1.920	4,34	795,1	5.880	7,39

TABLA 5.59.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-6

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3978

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
44,7	30	0,67	440,0	1.785	4,06
93,2	100	1,07	461,2	1.950	4,23
140,0	210	1,50	482,6	2.130	4,41
184,0	345	1,88	504,6	2.325	4,61
204,7	420	2,05	525,4	2.520	4,80
227,4	510	2,24	548,2	2.735	4,99
248,4	600	2,42	569,0	2.940	5,17
270,5	705	2,61	592,7	3.180	5,36
291,0	810	2,78	615,5	3.420	5,56
313,0	930	2,97	636,8	3.660	5,75
333,5	1.050	3,15	657,8	3.900	5,93
355,2	1.185	3,34	681,2	4.180	6,14
376,0	1.320	3,51	701,8	4.440	6,33
398,0	1.470	3,69	728,0	4.770	6,55
418,8	1.620	3,87	774,1	5.370	6,94

TABLA 5.60.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldeespática II

Granulometría: F-6

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3894

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
38,0	30	0,79	485,6	1.860	3,83
87,9	90	1,02	507,8	2.025	3,99
133,7	180	1,35	528,9	2.190	4,14
189,6	330	1,74	553,3	2.385	4,31
212,7	405	1,90	574,7	2.565	4,46
257,3	570	2,22	596,9	2.760	4,62
298,7	750	2,51	618,6	2.955	4,78
320,7	855	2,67	639,0	3.150	4,93
343,0	975	2,84	663,3	3.380	5,10
366,4	1.095	2,99	683,8	3.585	5,24
387,3	1.215	3,14	705,6	3.810	5,40
409,7	1.350	3,30	726,6	4.035	5,55
431,0	1.485	3,45	747,2	4.260	5,70
451,5	1.620	3,59	768,5	4.500	5,86
464,7	1.710	3,68	790,2	4.725	5,98

TABLA 5.61.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-7

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3897

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
24,4	30	1,23	472,7	3.180	6,73
42,4	60	1,42	501,7	3.550	7,08
98,4	195	1,98	523,3	3.840	7,34
141,5	360	2,54	543,2	4.140	7,62
187,8	585	3,12	566,2	4.475	7,90
210,7	720	3,42	589,3	4.830	8,20
238,4	900	3,78	613,6	5.220	8,51
271,2	1.140	4,20	634,9	5.580	8,79
294,0	1.320	4,49	658,4	5.985	9,09
316,9	1.515	4,78	679,1	6.360	9,37
343,5	1.760	5,12	700,0	6.750	9,64
367,5	1.980	5,39	721,9	7.170	9,93
389,6	2.205	5,66	744,2	7.630	10,25
410,7	2.430	5,92	766,8	8.070	10,52
452,8	2.925	6,46	791,4	8.585	10,85

TABLA 5.62.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldeespática II

Granulometría: F-7

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3722

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
66,5	60	0,90	456,4	1.845	4,04
102,2	120	1,17	478,9	2.025	4,23
129,3	180	1,39	500,7	2.205	4,40
152,2	240	1,58	523,1	2.400	4,59
175,3	310	1,77	543,7	2.595	4,77
197,5	385	1,95	567,0	2.805	4,95
219,0	465	2,12	588,3	3.015	5,12
240,9	555	2,30	633,3	3.480	5,50
264,8	660	2,49	655,4	3.720	5,68
286,4	765	2,67	676,7	3.960	5,85
307,9	875	2,84	699,7	4.230	6,05
328,7	990	3,01	722,1	4.500	6,23
378,2	1.290	3,41	751,1	4.860	6,47
400,6	1.440	3,59	774,2	5.160	6,66
413,6	1.530	3,70	812,2	5.670	6,98

TABLA 5.63.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-7

Presión:  $9,81 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3704

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
74,6	60	0,80	473,9	1.710	3,61
113,5	120	1,06	496,9	1.875	3,77
145,5	185	1,27	524,2	2.085	3,98
179,2	270	1,51	551,4	2.300	4,17
199,8	330	1,65	574,0	2.490	4,34
221,8	400	1,80	597,0	2690	4,51
243,5	480	1,97	622,7	2.925	4,70
267,5	570	2,13	648,3	3.225	4,97
288,8	660	2,29	677,3	3.450	5,09
311,8	765	2,45	701,8	3.705	5,28
333,4	870	2,61	723,0	3.930	5,44
366,4	1.040	2,84	743,0	4.155	5,59
387,1	1.155	2,98	769,7	4.450	5,78
409,9	1.290	3,15	790,9	4.695	5,94
431,5	1.425	3,30	823,8	5.045	6,12

TABLA 5.64.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-7

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3713

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
78,9	60	0,76	466,4	1.455	3,12
120,5	120	0,99	488,1	1.590	3,26
152,7	180	1,18	533,2	1.890	3,55
191,4	270	1,41	554,5	2.040	3,68
213,8	330	1,54	576,6	2.205	3,82
233,7	390	1,67	598,2	2.370	3,96
256,8	465	1,81	620,7	2.550	4,11
278,0	540	1,94	642,1	2.730	4,25
301,6	630	2,09	668,8	2.955	4,42
323,3	720	2,23	690,8	3.150	4,56
347,7	825	2,37	711,9	3.345	4,70
369,9	930	2,51	736,9	3.585	4,87
394,0	1.050	2,67	756,8	3.780	5,00
416,8	1.170	2,81	779,3	4.005	5,14
442,9	1.320	2,98	802,1	4.245	5,29

TABLA 5.65

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-1

Rechazo tamiz 60  $\mu$ m = 6,13%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu$ m)
65,36	24,19
55,27	14,67
50,32	9,55
43,82	7,07
41,94	5,77
36,31	4,19
32,22	2,84
31,09	2,24

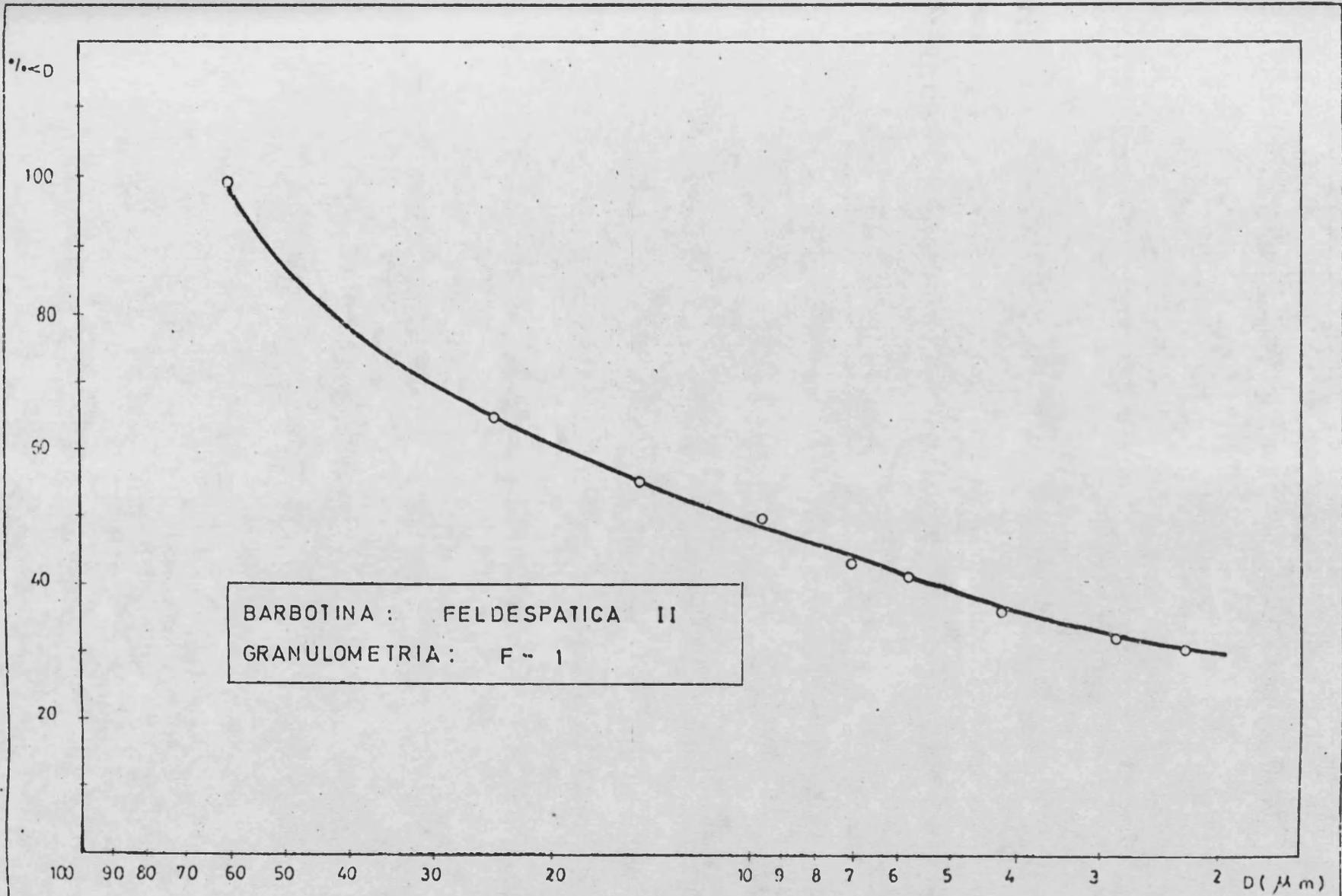


FIG. 5.5. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

TABLA 5.66

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-2

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 2,25%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
69,26	24,89
58,42	15,09
52,02	9,82
45,74	7,27
42,63	5,75
37,38	4,31
32,42	2,92
30,42	2,40

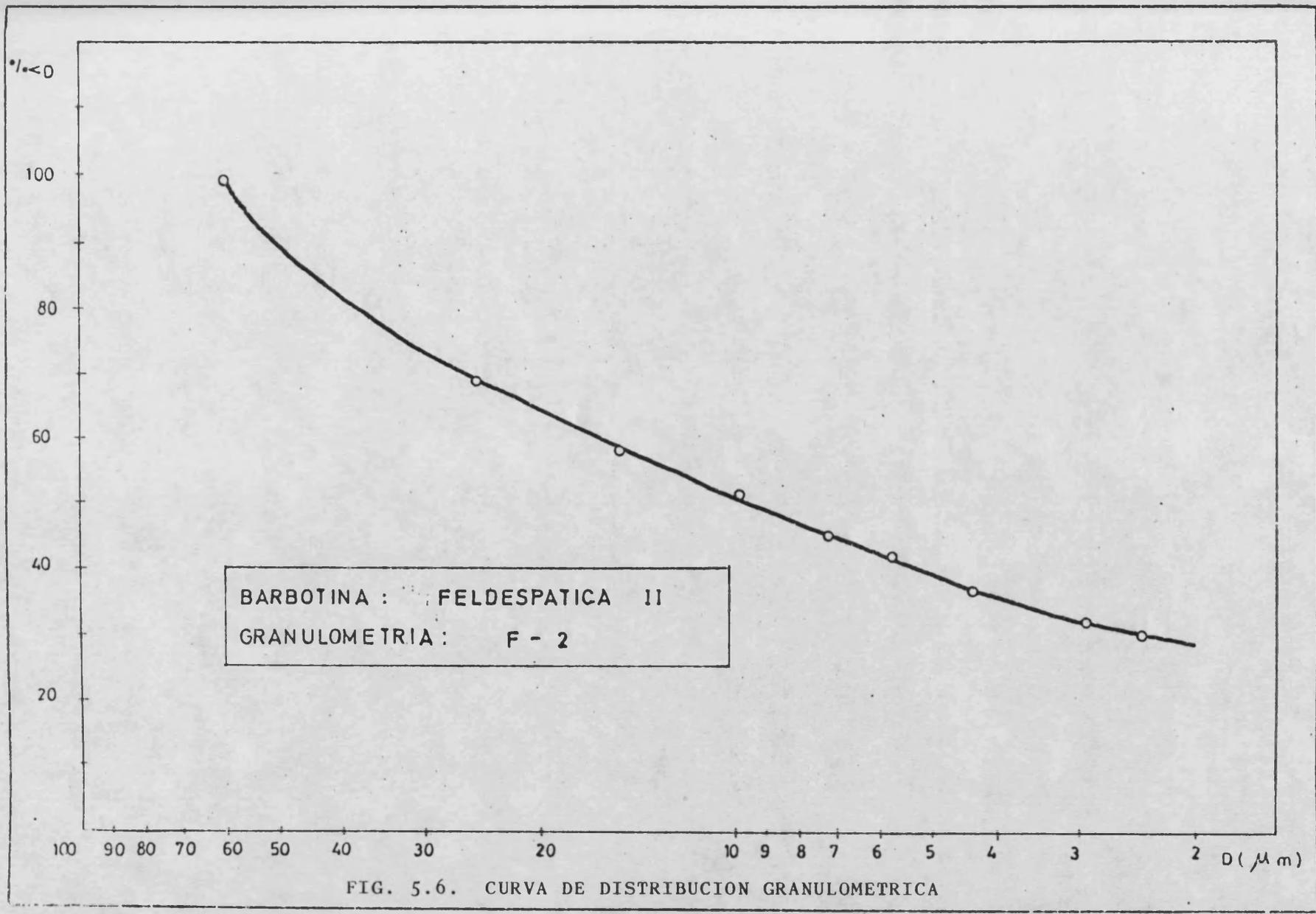


TABLA 5.67

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-3

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,08%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
78,55	24,31
66,19	14,78
54,69	9,62
48,48	7,11
44,33	5,63
40,29	4,21
35,50	2,85
32,08	2,25

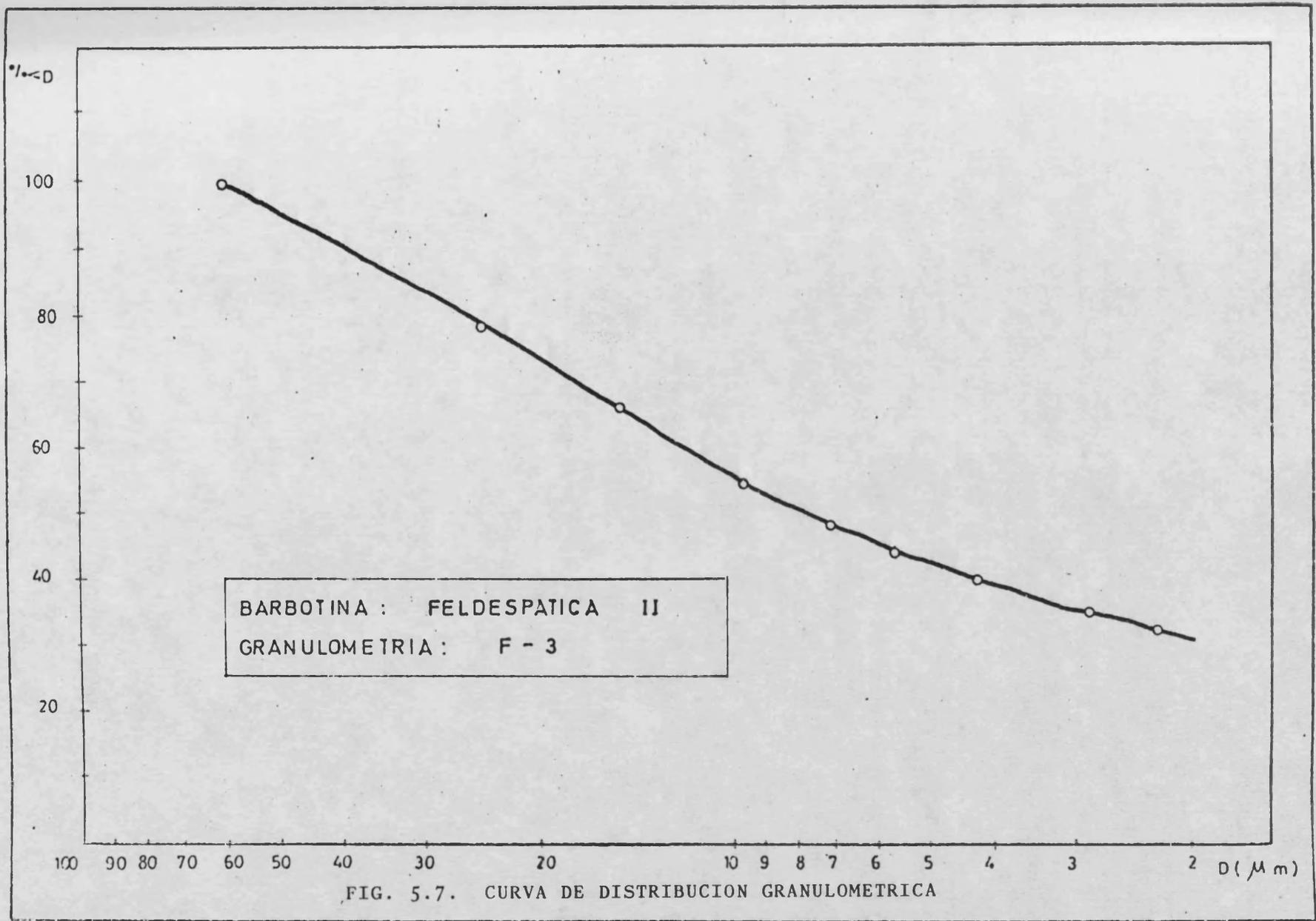


TABLA 5.68

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-4

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,10%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
-----------------------	---

82,62	24,89
70,02	15,09
56,97	9,82
50,16	7,25
46,08	5,75
39,62	4,30
35,63	2,91
32,68	2,39

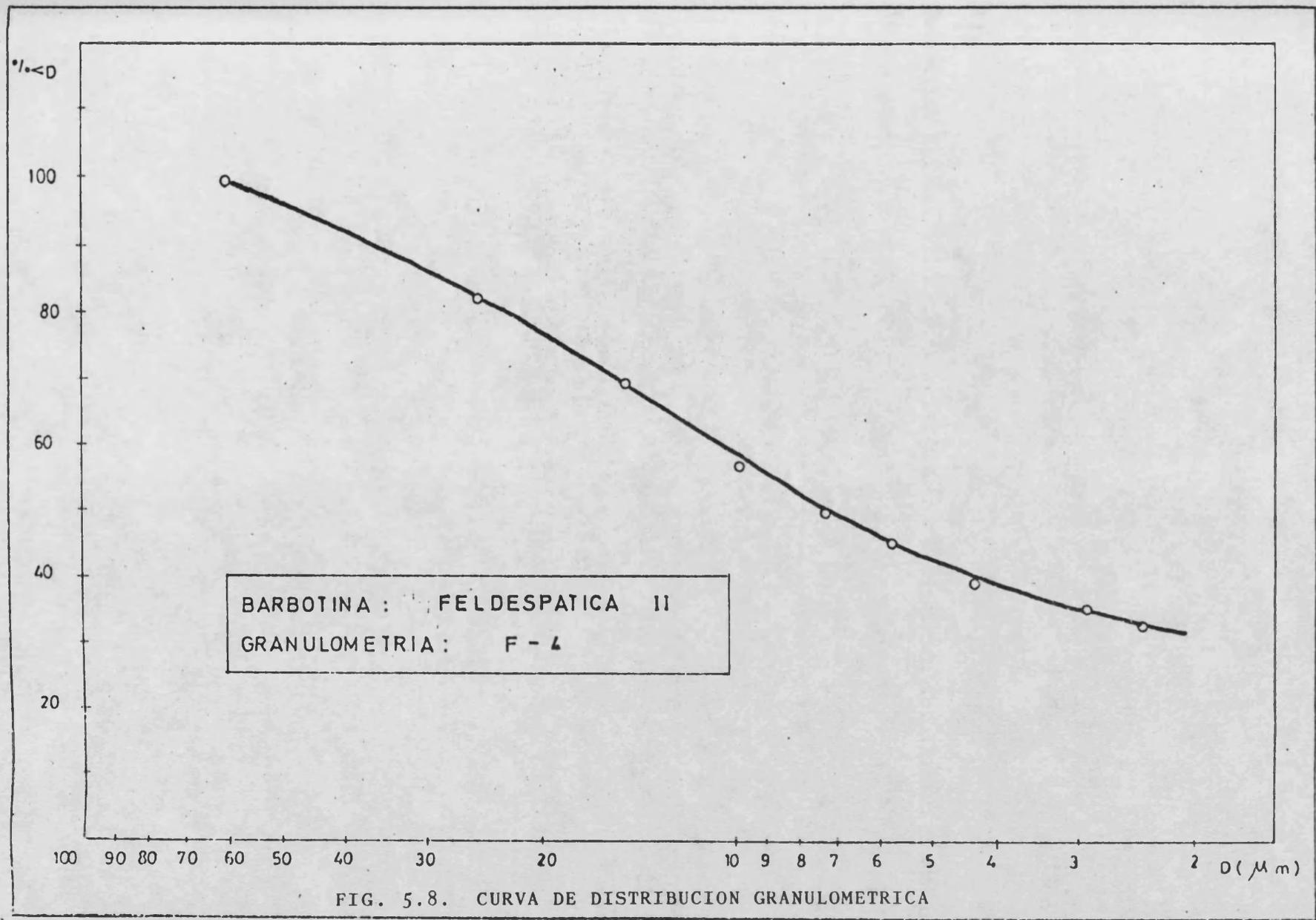


TABLA 5.69

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-5

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,03%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
88,06	24,31
79,69	14,74
66,60	9,59
58,53	7,09
51,32	5,61
45,35	4,19
38,90	2,83
35,29	2,24

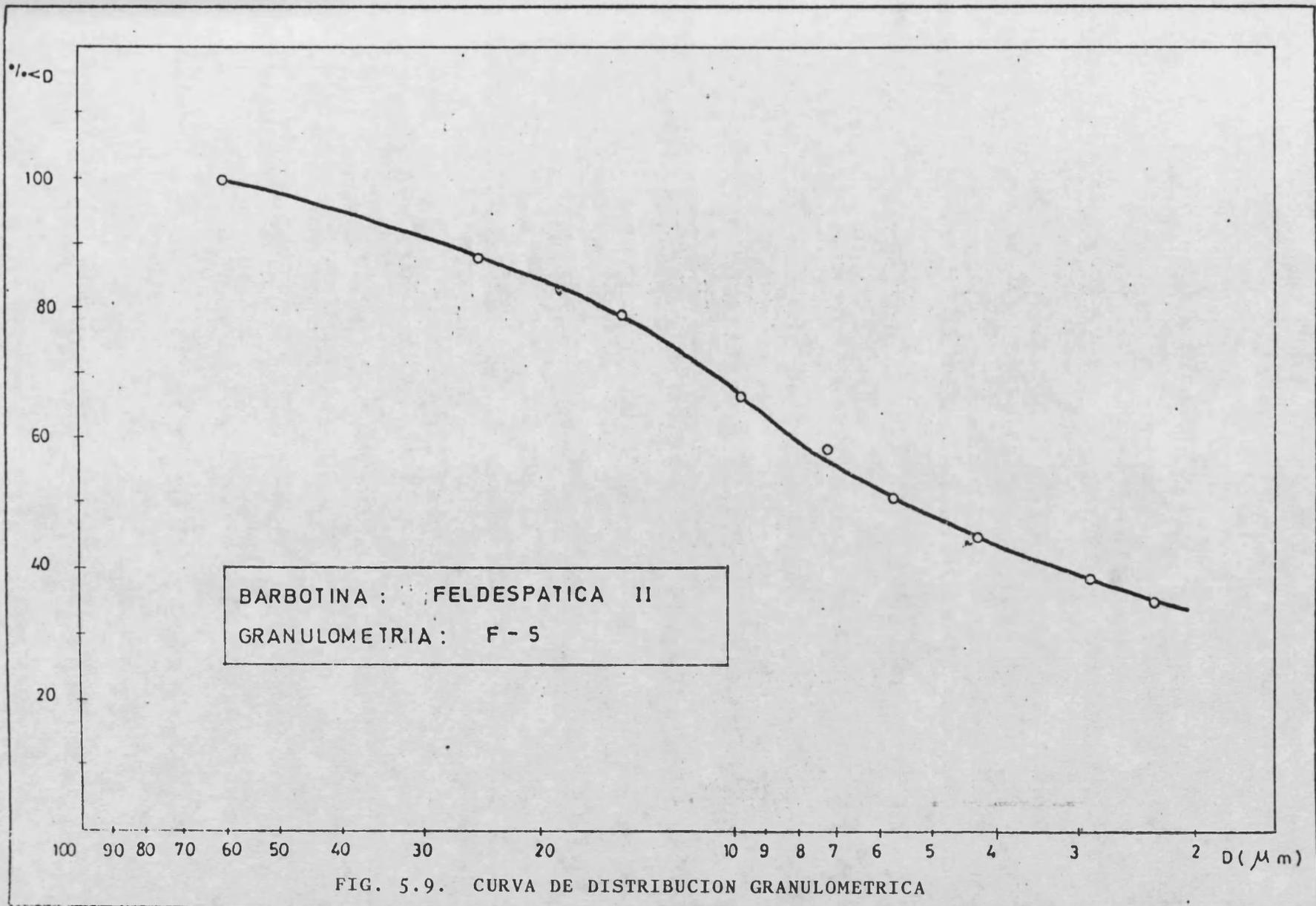


TABLA 5.70

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-6

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
91,27	23,09
86,47	13,96
73,56	9,06
63,12	6,71
55,24	5,32
48,41	3,98
40,15	2,78
35,12	2,04

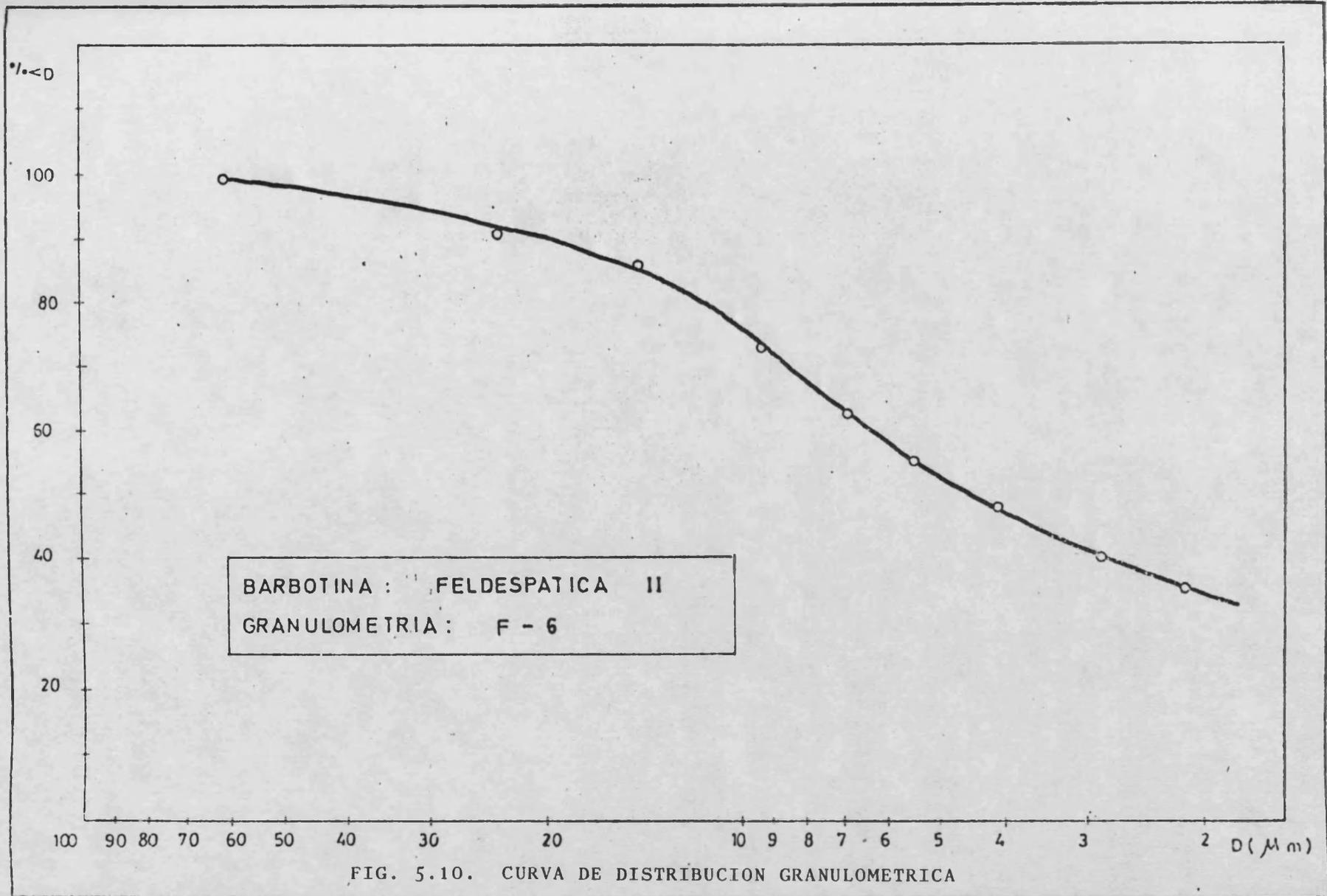


TABLA 5.71

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Feldespática II

Muestra: F-7

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
93,76	24,26
89,49	14,67
84,01	9,55
72,95	7,05
65,68	5,76
56,13	4,18
45,93	2,83
40,82	2,23

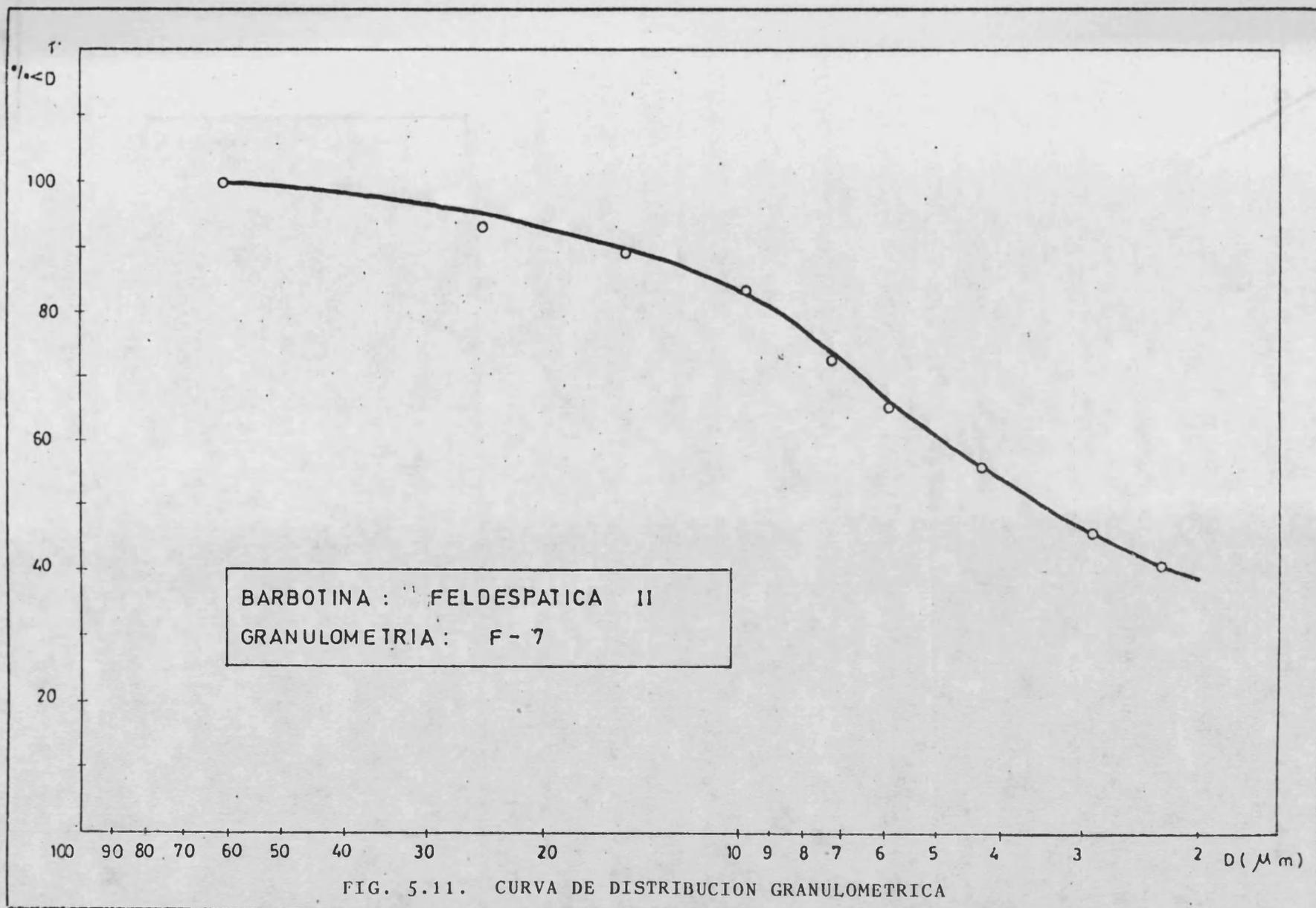


FIG. 5.11. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

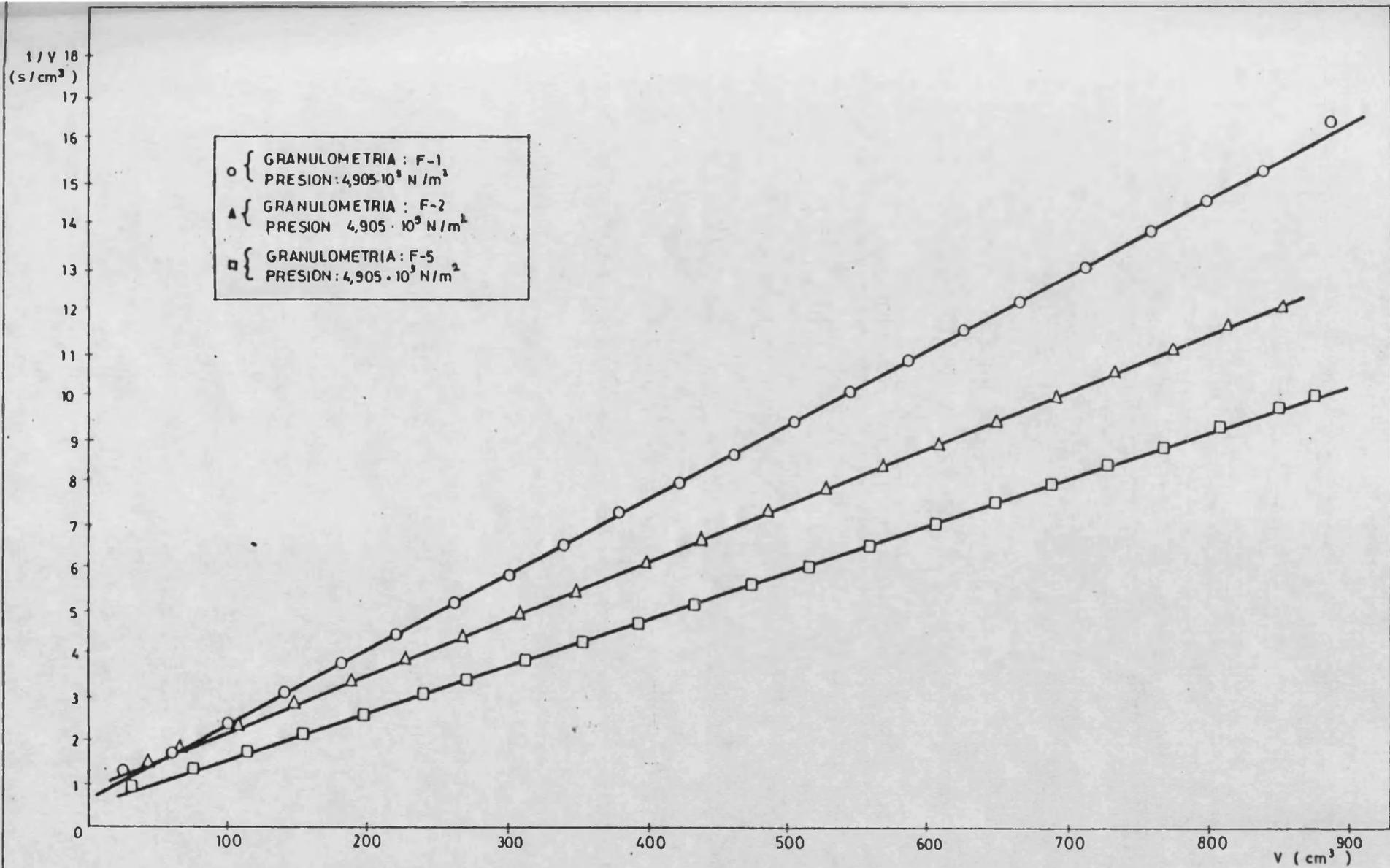


FIG. 5.12. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina fel despática II.

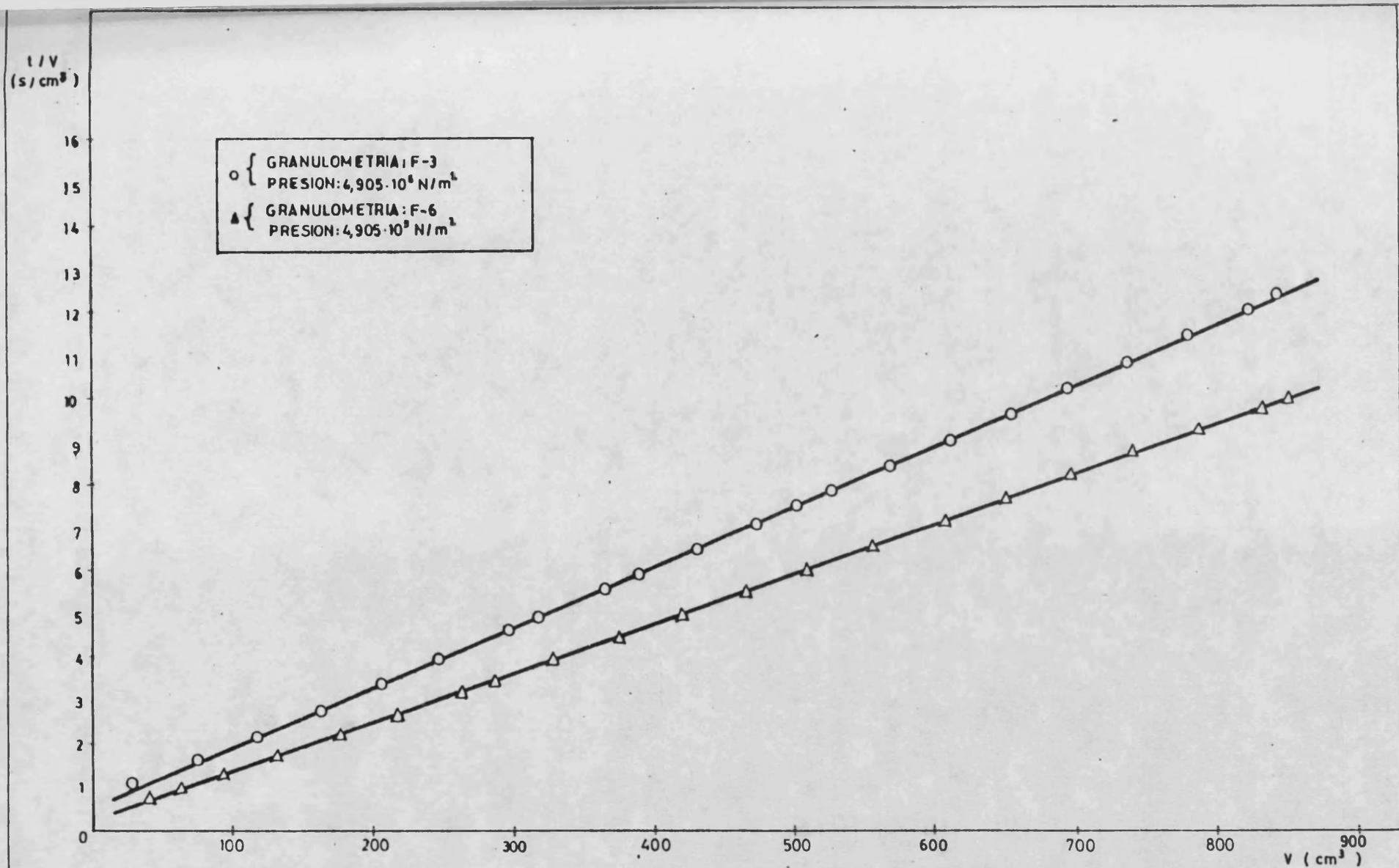


FIG. 5.13. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina feldespática II.

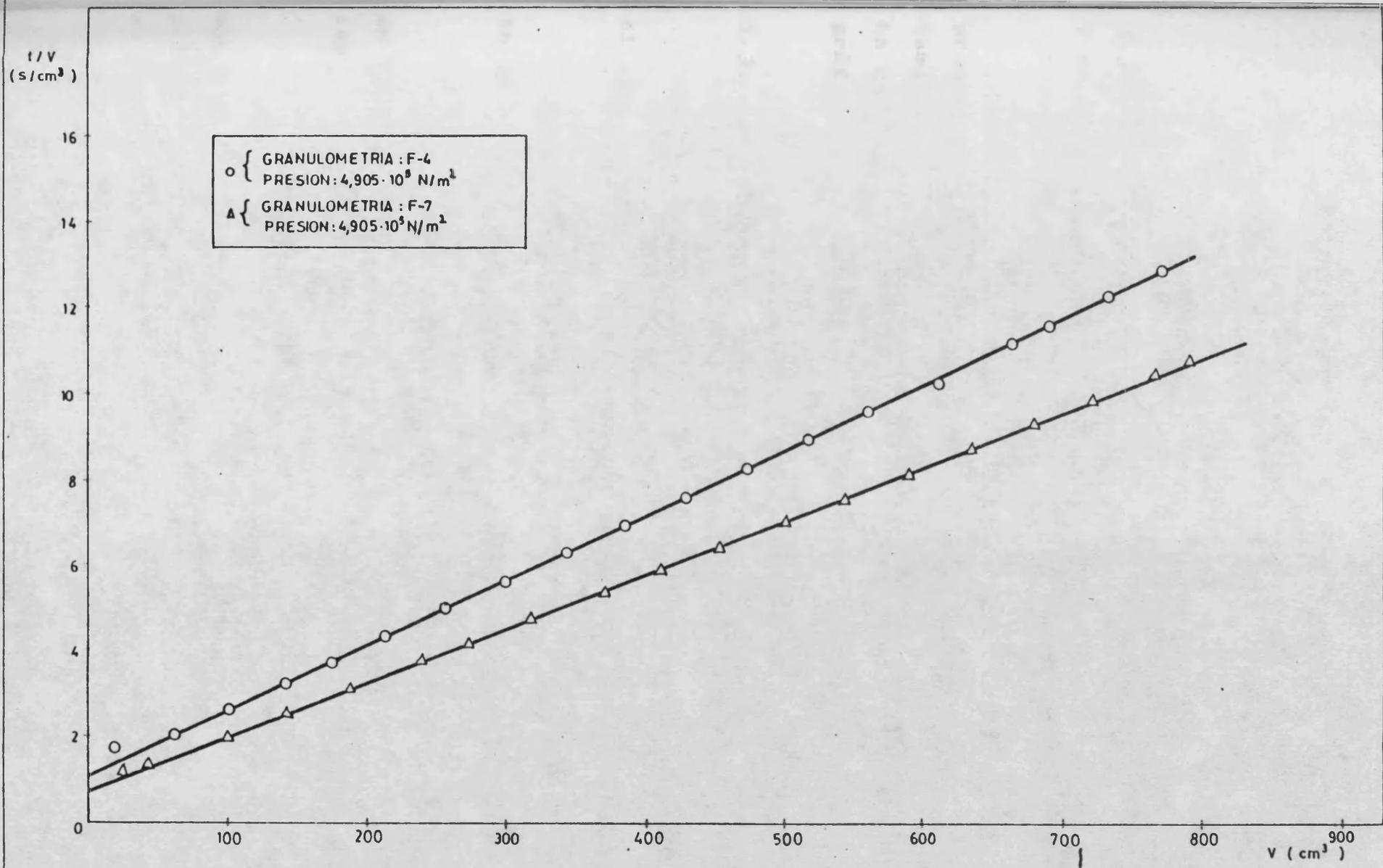


FIG. 5.14. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina feldespática II.

En la figura 5.12 aparecen representadas las tablas 5.38, 5.42 y 5.56. En la figura 5.13, las tablas 5.47 y 5.60 y en la figura 5.14 las tablas 5.52 y 5.64.

Se ha comprobado también que todas las demás tablas presentan un comportamiento similar, aunque, dado que el tratamiento de los datos se ha hecho mediante calculadoras, no se ha considerado necesario incluir todas las representaciones gráficas.

### 5.3. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA BARBOTINA PORCELANA.

La metodología utilizada fué idéntica a la expuesta en el apartado 5.2.

El número de experimentos realizados fue para este caso de 35.

Las tablas 5.72 a 5.106 recogen los valores de  $t/V$  en función de  $V$  correspondientes a cada uno de los experimentos.

Las curvas granulométricas correspondientes a las barbotinas obtenidas, aparecen detalladas en las tablas 5.107 a 5.113, estando representadas gráficamente en las figuras 5.15 a 5.21.

TABLA 5.72.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3437

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
29,0	30	1,03	517,5	2.580	4,99
70,9	90	1,27	534,9	2.745	5,13
100,6	150	1,49	552,1	2.910	5,27
134,9	240	1,78	570,0	3.090	5,42
171,9	360	2,09	587,7	3.275	5,57
206,1	495	2,40	610,2	3.510	5,75
239,8	645	2,69	629,6	3.720	5,91
275,3	825	3,00	648,8	3.930	6,06
310,9	1.020	3,28	667,4	4.140	6,20
345,0	1.230	3,57	705,6	4.590	6,51
380,4	1.470	3,86	739,8	5.010	6,77
414,6	1.725	4,16	774,3	5.460	7,05
450,0	1.995	4,43	809,7	5.940	7,34
484,4	2.280	4,71	843,3	6.420	7,61
501,3	2.430	4,85	859,4	6.660	7,75

TABLA 5.73.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3431

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
37,5	30	0,80	540,6	2.250	4,16
81,7	90	1,10	557,8	2.385	4,28
113,7	150	1,32	571,0	2.490	4,36
148,0	230	1,55	585,4	2.610	4,46
180,7	320	1,77	601,3	2.745	4,57
216,4	435	2,01	618,5	2.895	4,68
253,0	570	2,25	635,5	3.045	4,79
288,9	720	2,49	653,6	3.210	4,91
321,3	870	2,71	688,5	3.540	5,14
357,8	1.055	2,95	724,6	3.900	5,38
389,3	1.230	3,16	759,0	4.260	5,61
424,6	1.440	3,39	792,2	4.620	5,83
457,3	1.650	3,61	826,4	5.010	6,06
492,1	1.890	3,84	843,1	5.205	6,17
524,9	2.130	4,06	876,8	5.610	6,40

TABLA 5.74.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

Presión:  $8,829 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3435

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
44,0	30	0,68	550,6	1.980	3,60
94,4	90	0,95	568,1	2.100	3,70
129,9	150	1,16	585,2	2.220	3,79
165,8	225	1,36	601,7	2.340	3,89
201,6	315	1,56	620,0	2.475	3,99
237,4	420	1,77	637,4	2.610	4,10
273,4	540	1,98	658,5	2.775	4,21
306,4	665	2,17	675,1	2.910	4,31
341,1	810	2,38	693,2	3.060	4,41
373,9	960	2,57	728,1	3.360	4,62
410,0	1.140	2,78	763,0	3.675	4,82
447,1	1.340	3,00	798,0	4.005	5,02
482,5	1.545	3,20	832,9	4.350	5,22
516,2	1.755	3,40	868,2	4.710	5,43
532,5	1.860	3,49	881,0	4.845	5,50

TABLA 5.75.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

Presión:  $10,791 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Concentración inicial de sólidos: 0,3421

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,0	30	0,71	563,6	1.895	3,36
90,9	90	0,96	581,8	2.010	3,46
130,7	150	1,15	601,7	2.140	3,56
165,6	220	1,33	620,2	2.265	3,65
199,5	300	1,50	639,6	2.400	3,75
232,6	390	1,68	658,7	2.535	3,85
267,2	495	1,85	677,0	2.670	3,94
302,2	615	2,04	695,0	2.805	4,04
337,0	870	2,37	712,5	2.940	4,13
384,8	945	2,46	746,4	3.210	4,30
417,5	1.095	2,62	782,2	3.510	4,49
451,4	1.260	2,79	316,5	3.810	4,67
485,6	1.440	2,97	851,2	4.125	4,85
522,8	1.650	3,16	885,7	4.455	5,03
540,7	1.755	3,25	900,0	4.590	5,10

TABLA 5.76.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3421

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
43,2	30	0,69	549,6	1.690	3,08
96,6	90	0,93	568,7	1.800	3,17
134,6	150	1,11	586,3	1.905	3,25
168,7	215	1,27	603,3	2.010	3,33
202,3	290	1,43	619,9	2.115	3,41
235,4	375	1,59	638,5	2.235	3,50
269,0	470	1,75	656,8	2.355	3,59
305,0	585	1,92	674,3	2.475	3,67
343,0	720	2,10	691,4	2.595	3,75
379,0	860	2,27	726,5	2.850	3,92
413,8	1.005	2,43	766,6	3.155	4,12
446,8	1.155	2,59	801,7	3.435	4,29
480,5	1.320	2,75	837,4	3.735	4,46
515,2	1.500	2,91	871,9	4.035	4,63
531,8	1.590	2,99	898,8	4.271	4,75

TABLA 5.77.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

Presión:  $2,943 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3679

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
17,7	30	1,70	445,3	3.090	6,94
49,3	95	1,93	467,0	3.360	7,20
89,2	220	2,47	487,4	3.630	7,45
129,0	390	3,02	507,8	3.910	7,70
168,0	600	3,57	530,1	4.230	7,98
207,3	855	4,12	550,0	4.530	8,24
247,8	1.140	4,60	569,7	4.845	8,50
287,3	1.455	5,06	592,5	5.220	8,81
306,2	1.620	5,29	611,5	5.550	9,08
325,5	1.800	5,53	631,1	5.910	9,37
345,9	1.995	5,77	650,1	6.270	9,65
365,3	2.190	6,00	670,0	6.660	9,94
385,1	2.400	6,23	690,3	7.080	10,26
406,0	2.630	6,48	709,6	7.500	10,57
426,1	2.860	6,71	729,8	7.950	10,89

TABLA 5.78.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3357

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
28,0	30	1,07	555,1	2.910	5,24
77,0	105	1,36	573,1	3.090	5,39
116,5	195	1,67	591,1	3.270	5,53
152,3	300	1,97	608,5	3.450	5,67
186,8	420	2,25	633,4	3.720	5,87
224,8	580	2,58	650,9	3.915	6,02
263,5	760	2,88	668,2	4.115	6,16
296,0	930	3,14	685,5	4.320	6,30
332,3	1.140	3,43	702,7	4.530	6,45
369,3	1.380	3,74	719,6	4.740	6,59
403,0	1.620	4,02	742,2	5.025	6,77
444,1	1.935	4,36	776,3	5.475	7,05
481,2	2.235	4,65	812,1	5.970	7,35
518,5	2.565	4,95	846,8	6.465	7,64
536,3	2.730	5,09	881,9	6.990	7,93

TABLA 5.79.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3379

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,0	30	0,71	513,9	1.970	3,83
90,4	90	1,00	533,5	2.115	3,96
123,5	150	1,22	553,3	2.265	4,09
158,9	230	1,45	601,8	2.660	4,42
195,0	320	1,69	642,1	3.015	4,70
231,8	450	1,94	662,2	3.195	4,83
268,0	585	2,18	681,4	3.375	4,95
286,1	660	2,31	721,0	8.765	5,22
303,4	735	2,42	740,1	3.960	5,35
338,4	900	2,66	760,4	4.170	5,48
373,4	1.080	2,89	800,4	4.605	5,75
410,6	1.290	3,14	819,0	4.815	5,88
428,1	1.395	3,26	838,6	5.040	6,01
437,6	1.455	3,32	878,8	5.520	6,28
474,8	1.695	3,57	894,0	5.715	6,39

TABLA 5.80.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

Presión:  $8,829 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3385

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,6	30	0,70	535,2	1.875	3,50
94,4	90	0,95	577,5	2.165	3,75
133,2	155	1,16	621,5	2.490	4,01
172,6	240	1,39	642,6	2.655	4,13
212,7	345	1,62	665,0	2.835	4,26
253,3	470	1,86	706,1	3.180	4,50
290,2	600	2,07	746,8	3.540	4,74
309,5	675	2,18	766,1	3.720	4,86
330,1	760	2,30	784,9	3.900	4,97
372,8	950	2,55	827,0	4.315	5,22
393,3	1.050	2,67	848,1	4.530	5,34
412,1	1.145	2,78	876,4	4.830	5,51
450,0	1.350	3,00	914,7	5.250	5,74
469,0	1.460	3,11	943,4	5.580	5,92
488,3	1.575	3,23	956,9	5.735	5,99

TABLA 5.81.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3651

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
40,9	30	0,73	477,7	1.605	3,35
90,9	90	0,99	496,3	1.725	3,48
125,2	150	1,20	514,3	1.845	3,59
157,6	220	1,40	551,3	2.100	3,81
190,7	305	1,60	585,8	2.355	4,02
209,7	360	1,72	603,3	2.490	4,13
228,6	420	1,84	624,0	2.655	4,26
263,6	540	2,05	662,3	2.970	4,48
279,5	600	2,15	698,2	3.285	4,71
297,4	670	2,25	716,3	3.450	4,82
337,2	840	2,49	734,2	3.615	4,92
368,8	990	2,68	770,1	3.960	5,14
386,7	1.080	2,79	808,2	4.345	5,38
403,8	1.170	2,90	825,9	4.530	5,49
435,8	1.350	3,10	842,6	4.710	5,59

TABLA 5.82.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3650

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
43,7	30	0,69	519,9	1.645	3,16
96,3	90	0,94	540,3	1.770	3,28
136,2	155	1,14	560,1	1.895	3,38
173,3	230	1,33	600,1	2.160	3,60
214,5	330	1,54	619,5	2.295	3,71
234,5	385	1,64	689,5	2.440	3,82
254,7	445	1,75	666,8	2.640	3,96
275,1	510	1,85	686,0	2.790	4,07
295,6	580	1,96	706,4	2.950	4,18
339,5	745	2,19	727,2	3.120	4,29
359,1	825	2,30	747,7	3.290	4,40
379,9	915	2,41	767,4	3.460	4,51
436,7	1.185	2,71	806,6	3.810	4,72
460,0	1.305	2,84	826,1	3.990	4,83
479,1	1.410	2,94	846,9	4.185	4,94

TABLA 5.83.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3657

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
28,2	30	1,06	485,9	2.250	4,63
68,9	90	1,31	507,4	2.435	4,80
111,1	180	1,62	539,8	2.730	5,06
153,4	300	1,96	572,9	3.045	5,32
194,6	450	2,31	589,4	3.210	5,45
226,6	585	2,58	606,9	3.390	5,59
261,9	750	2,86	648,3	3.825	5,90
279,7	840	3,00	680,4	4.185	6,15
296,6	930	3,14	696,9	4.380	6,29
331,2	1.130	3,41	714,0	4.590	6,43
367,6	1.360	3,70	747,0	5.010	6,71
383,9	1.470	3,83	781,5	5.460	6,99
401,2	1.590	3,96	800,3	5.700	7,12
435,5	1.845	4,24	818,4	5.940	7,26
469,7	2.115	4,50	849,4	6.360	7,49

TABLA 5.84.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3613

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
34,6	30	0,87	517,3	2.040	3,94
78,2	90	1,15	549,5	2.280	4,15
111,0	150	1,35	583,4	2.550	4,37
144,0	225	1,56	620,9	2.865	4,61
177,0	315	1,78	639,8	3.030	4,74
210,2	420	2,00	658,3	3.195	4,85
243,7	540	2,22	676,1	3.360	4,97
277,6	675	2,43	693,6	3.525	5,08
312,9	830	2,65	727,5	3.855	5,30
346,4	990	2,86	761,5	4.200	5,52
380,7	1.170	3,07	795,6	4.560	5,73
412,0	1.350	8,28	828,4	4.920	5,94
429,1	1.455	3,39	862,2	5.310	6,16
445,8	1.560	3,50	895,0	5.700	6,37
482,7	1.800	3,73	910,0	5.880	6,46

TABLA 5.85.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3614

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
41,4	30	0,73	498,4	1.633	3,28
88,4	90	1,02	531,8	1.860	3,50
123,6	150	1,21	547,9	1.965	3,59
152,6	210	1,38	565,7	2.085	3,69
183,8	285	1,55	599,7	2.325	3,88
216,3	375	1,73	631,9	2.565	4,06
253,9	495	1,95	649,6	2.700	4,16
271,1	555	2,05	666,6	2.835	4,25
287,3	615	2,14	683,3	2.970	4,35
321,3	750	2,33	715,3	3.240	4,53
356,5	900	2,53	749,6	3.540	4,72
391,6	1.065	2,72	782,4	3.840	4,91
426,8	1.245	2,92	816,9	4.170	5,11
443,6	1.335	3,01	850,6	4.505	5,30
462,6	1.440	3,11	867,7	4.680	5,39

TABLA 5.86.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3622

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
43,3	30	0,69	476,4	1.380	2,90
95,3	90	0,94	509,0	1.560	3,07
132,2	150	1,14	544,5	1.770	3,25
162,8	210	1,29	561,8	1.875	3,34
201,6	300	1,49	597,0	2.040	3,42
235,0	390	1,66	605,9	2.160	3,57
252,1	460	1,83	642,8	2.415	3,76
268,2	490	1,83	659,4	2.535	3,84
300,8	600	2,00	675,5	2.655	3,93
337,0	735	2,18	712,8	2.940	4,13
355,8	810	2,28	750,1	3.240	4,32
373,8	885	2,37	768,1	3.390	4,41
407,4	1.035	2,54	785,5	3.540	4,51
441,6	1.200	2,72	819,4	3.840	4,69
459,4	1.290	2,81	852,0	4.140	4,86

TABLA 5.87.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3638

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
45,0	30	0,67	472,1	1.320	2,80
97,7	90	0,92	505,5	1.500	2,97
135,4	150	1,11	539,7	1.695	3,14
166,4	210	1,26	557,3	1.800	3,23
201,6	290	1,44	574,2	1.905	3,32
234,1	375	1,60	595,3	2.040	3,43
250,0	420	1,68	613,6	2.160	3,52
266,8	470	1,76	651,6	2.420	3,71
301,6	585	1,94	667,3	2.535	3,80
335,0	705	2,10	687,5	2.680	3,89
350,0	765	2,18	723,6	2.955	4,08
369,0	840	2,28	759,7	3.240	4,27
403,9	990	2,45	777,6	3.390	4,36
435,9	1.140	2,62	795,2	3.540	4,45
455,4	1.235	2,71	829,5	3.840	4,63

TABLA 5.88.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3553

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
32,2	30	0,93	480,4	1.890	3,93
76,8	90	1,17	514,4	2.145	4,17
108,5	150	1,38	535,7	2.310	4,31
140,6	225	1,60	552,3	2.445	4,43
173,4	315	1,82	585,9	2.730	4,66
205,9	420	2,04	619,5	3.030	4,89
238,0	540	2,27	654,4	3.360	5,13
258,3	620	2,40	673,4	3.545	5,26
274,3	690	2,52	690,7	3.720	5,39
306,5	840	2,74	719,7	4.020	5,59
342,0	1.020	2,98	752,9	4.380	5,82
376,9	1.215	3,22	770,3	4.575	5,94
394,4	1.320	3,35	787,4	4.770	6,06
411,4	1.425	3,46	820,5	5.160	6,30
445,8	1.650	3,70	857,3	5.580	6,51

TABLA 5.89.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3542

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
38,4	30	0,78	482,8	1.620	3,36
85,5	90	1,05	499,6	1.725	3,45
120,0	150	1,25	533,6	1.950	3,65
162,0	240	1,48	568,0	2.190	3,86
196,6	330	1,68	602,2	2.445	4,06
226,6	420	1,85	619,7	2.580	4,16
262,1	540	2,06	636,8	2.715	4,26
278,3	600	2,16	671,5	3.000	4,47
297,4	675	2,27	706,2	3.300	4,67
332,8	825	2,48	739,1	3.600	4,87
365,4	975	2,67	757,4	3.770	4,98
380,6	1.050	2,76	774,1	3.930	5,08
398,3	1.140	2,86	807,4	4.260	5,28
431,7	1.320	3,06	842,2	4.620	5,49
465,7	1.515	3,25	867,3	4.820	5,60

TABLA 5.90.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3553

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
45,2	30	0,66	496,1	1.500	3,02
96,2	90	0,94	514,6	1.605	3,12
133,1	150	1,13	549,8	1.815	3,30
170,3	225	1,32	585,2	2.040	3,49
207,9	315	1,52	603,1	2.160	3,58
240,3	405	1,69	622,3	2.290	3,68
274,0	510	1,86	655,0	2.520	3,85
291,6	570	1,96	691,1	2.790	4,04
308,3	630	2,04	708,6	2.925	4,13
339,9	750	2,21	733,3	3.120	4,26
375,9	900	2,39	769,8	3.420	4,44
392,6	975	2,48	804,3	3.720	4,63
408,9	1.050	2,57	821,2	3.870	4,71
446,8	1.235	2,76	837,7	4.020	4,80
479,8	1.410	2,94	863,7	4.245	4,92

TABLA 5.91.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3552

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
49,0	30	0,61	517,7	1.425	2,75
104,5	90	0,86	551,8	1.605	2,91
143,8	150	1,04	573,2	1.725	3,01
176,4	210	1,19	609,0	1.935	3,18
217,6	300	1,38	626,3	2.040	3,26
258,7	405	1,57	659,5	2.250	3,41
279,9	465	1,66	695,2	2.490	3,58
299,7	525	1,75	712,5	2.610	3,66
336,1	645	1,92	729,4	2.730	3,72
369,6	765	2,07	746,1	2.850	3,82
385,2	825	2,14	762,2	2.970	3,90
403,9	900	2,23	797,3	3.240	4,06
439,1	1.050	2,39	814,3	3.375	4,14
472,1	1.200	2,54	830,9	3.510	4,22
490,9	1.290	2,63	863,4	3.780	4,38

TABLA 5.92.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3554

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
77,5	60	0,77	505,5	1.350	2,67
123,5	120	0,97	523,2	1.440	2,75
159,8	180	1,13	543,4	1.545	2,84
190,5	240	1,26	586,7	1.785	3,04
230,0	330	1,44	619,8	1.980	3,19
247,9	375	1,51	634,4	2.070	3,26
264,8	420	1,59	651,2	2.175	3,34
295,5	510	1,73	684,3	2.390	3,49
314,9	570	1,81	718,7	2.625	3,65
333,0	630	1,89	735,8	2.745	3,73
367,0	750	2,04	752,7	2.865	3,81
400,8	880	2,20	786,9	3.120	3,97
418,0	950	2,27	821,4	3.390	4,13
434,4	1.020	2,35	854,0	3.660	4,29
468,2	1.170	2,50	871,7	3.780	4,34

TABLA 5.93.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3417

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
31,3	30	0,96	465,6	1.965	4,22
74,6	90	1,21	486,0	2.130	4,38
114,8	175	1,52	524,9	2.460	4,69
155,2	285	1,84	545,1	2.640	4,84
173,9	345	1,98	567,9	2.850	5,02
195,0	420	2,15	611,4	3.270	5,35
214,3	495	2,31	631,9	3.480	5,51
235,9	585	2,48	652,3	3.690	5,66
278,0	780	2,81	691,7	4.125	5,96
299,0	885	2,96	711,4	4.350	6,12
318,7	990	3,11	731,9	4.590	6,27
362,0	1.245	3,44	752,1	4.830	6,42
382,9	1.380	3,60	775,0	5.115	6,60
403,0	1.515	3,76	795,0	5.370	6,76
445,7	1.815	4,07	815,5	5.640	6,92

TABLA 5.94.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3871

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
37,1	30	0,81	454,6	1.740	3,83
82,2	90	1,10	475,4	1.890	3,98
127,1	180	1,42	496,7	2.050	4,13
171,5	300	1,75	516,9	2.205	4,27
190,0	360	1,90	537,2	2.370	4,41
210,0	430	2,05	577,3	2.710	4,69
253,0	600	2,37	597,9	2.895	4,84
273,6	690	2,52	612,2	3.075	4,98
292,5	780	2,67	637,4	3.270	5,13
312,6	880	2,82	657,3	3.465	5,27
333,5	990	2,97	676,5	3.660	5,41
352,7	1.095	3,11	696,3	3.870	5,56
373,5	1.215	3,25	737,9	4.320	5,85
412,1	1.455	3,53	758,0	4.545	6,00
432,6	1.590	3,68	780,6	4.805	6,16

TABLA 5.95.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: P-5

Presión:  $8,829 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3219

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
50,6	30	0,59	520,7	1.440	2,77
107,4	90	0,84	540,5	1.545	2,86
149,4	155	1,04	560,8	1.655	2,95
188,3	230	1,22	601,8	1.890	3,14
210,9	280	1,33	621,6	2.010	3,23
231,5	330	1,43	642,5	2.140	3,33
270,7	435	1,61	688,6	2.440	3,54
290,8	495	1,70	709,1	2.580	3,64
310,0	555	1,79	728,9	2.720	3,73
349,7	690	1,97	780,5	3.100	3,97
369,9	765	2,07	800,5	3.255	4,07
390,3	845	2,16	820,1	3.410	4,16
439,2	1.050	2,39	862,3	3.755	4,35
460,5	1.145	2,49	882,8	3.930	4,45
480,5	1.240	2,58	903,2	4.110	4,55

TABLA 5.96.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

Presión:  $10,791 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3424

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
47,0	30	0,64	509,5	1.410	2,77
101,8	90	0,88	556,1	1.660	2,99
141,2	150	1,06	576,3	1.775	3,08
180,9	225	1,24	595,9	1.890	3,17
220,8	315	1,43	636,4	2.140	3,36
240,6	365	1,52	656,6	2.270	3,46
260,9	420	1,61	676,9	2.405	3,55
300,9	540	1,80	716,4	2.680	3,74
322,2	610	1,89	735,9	2.820	3,83
342,2	680	1,99	766,0	2.970	3,93
385,9	845	2,19	796,0	3.280	4,12
407,8	935	2,29	816,1	3.440	4,22
427,8	1.020	2,38	835,6	3.600	4,31
469,2	1.210	2,58	874,5	3.930	4,49
489,7	1.310	2,68	880,6	3.975	4,51

TABLA 5.97.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3405

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
46,8	30	0,62	511,8	1.325	2,59
105,8	90	0,85	553,5	1.535	2,77
146,4	150	1,03	573,5	1.640	2,86
187,7	225	1,20	597,2	1.770	2,96
226,8	310	1,37	638,6	2.010	3,15
247,7	360	1,45	658,7	2.130	3,23
267,1	410	1,54	677,8	2.250	3,32
307,4	525	1,71	717,8	2.510	3,50
326,7	585	1,80	762	2.810	3,69
346,8	650	1,87	800,3	3.090	3,86
391,6	810	2,07	820,4	3.240	3,95
411,1	885	2,15	838,8	3.390	4,04
429,6	960	2,24	861,1	3.555	4,13
471,8	1.140	2,42	881,5	3.720	4,22
491,4	1.230	2,50	892,4	3.800	4,26

TABLA 5.98.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3649

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
24,3	30	1,24	461,9	2.260	4,89
63,3	95	1,50	485,8	2.475	5,10
106,1	205	1,93	508,1	2.685	5,28
150,0	340	2,27	529,6	2.895	5,47
171,3	420	2,45	552,2	3.180	5,76
192,8	510	2,65	578,9	3.405	5,88
237,3	720	3,03	599,8	3.630	6,05
261,0	840	3,22	625,5	3.910	6,25
282,7	960	3,40	648,0	4.170	6,44
304,8	1.095	3,59	691,3	4.710	6,81
325,9	1.230	3,77	712,3	4.980	6,99
349,4	1.385	3,96	733,9	5.265	7,17
378,4	1.590	4,20	755,3	5.550	7,35
419,5	1.905	4,54	778,8	5.880	7,55
439,5	2.070	4,71	800,0	6.160	7,69

TABLA 5.99.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-6

Presión:  $6,867 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3683

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
31,7	30	0,95	478,3	1.860	3,89
77,6	95	1,22	498,8	2.010	4,03
120,1	180	1,50	520,9	2.175	4,18
164,0	295	1,80	541,9	2.340	4,32
185,6	360	1,94	564,5	2.520	4,46
206,5	430	2,08	608,4	2,895	4,76
251,8	600	2,38	630,4	3.090	4,90
273,1	690	2,53	653,1	3.300	5,05
296,3	795	2,68	675,0	3.510	5,20
319,3	905	2,83	705,0	3.810	5,40
341,7	1.020	2,99	727,2	4.040	5,56
364,1	1.140	3,13	776,8	4.575	5,89
387,8	1.275	3,29	796,7	4.800	6,03
432,3	1.550	3,59	819,9	5.070	6,18
456,4	1.710	3,75	835,9	5.250	6,28

TABLA 5.100.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-6

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3630

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
39,6	30	0,76	481,6	1.480	3,07
90,0	90	1,00	502,7	1.600	3,18
133,4	165	1,24	523,7	1.725	3,29
155,2	210	1,35	564,0	1.980	3,51
176,9	260	1,47	584,3	2.115	3,62
220,4	375	1,70	605,3	2.260	3,73
242,6	440	1,81	647,5	2.565	3,96
267,7	520	1,94	667,4	2.715	4,07
309,5	670	2,16	688,8	2.880	4,18
329,9	750	2,27	712,5	3.070	4,31
351,8	840	2,39	732,9	3.240	4,42
393,0	1.025	2,61	761,0	3.480	4,57
413,8	1.125	2,72	784,2	3.685	4,70
434,6	1.230	2,83	827,2	4.080	4,93
459,7	1.360	2,96	845,0	4.245	5,02

TABLA 5.101.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-6

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3628

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
48,4	35	0,72	477,3	1.270	2,66
96,6	90	0,93	497,3	1.370	2,76
135,5	150	1,11	518,6	1.480	2,85
174,9	225	1,29	561,2	1.710	3,05
216,7	320	1,48	581,7	1.830	3,15
236,2	370	1,57	602,9	1.955	3,24
256,5	425	1,66	643,6	2.210	3,43
301,4	560	1,86	663,7	2.340	2,53
322,1	630	1,96	684,0	2.475	3,62
343,5	705	2,05	726,1	2.770	3,82
363,9	780	2,14	748,1	2.930	3,92
386,8	870	2,25	769,4	3.090	4,02
408,9	960	2,35	811,5	3.420	4,21
429,7	1.050	2,44	833,7	3.600	4,32
456,2	1.170	2,57	855,5	3.780	4,42

TABLA 5.102.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3596

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
38,4	30	0,78	453,8	1.530	3,37
85,6	90	1,05	470,5	1.635	3,48
118,9	150	1,26	486,7	1.740	3,58
151,8	225	1,48	522,1	1.980	3,79
185,0	315	1,70	539,0	2.100	3,90
218,6	420	1,92	555,5	2.220	4,00
253,2	540	2,13	591,0	2.490	4,21
268,9	600	2,23	624,4	2.760	4,42
283,9	660	2,33	642,1	2.910	4,53
318,9	810	2,54	659,6	3.060	4,64
335,1	885	2,64	701,0	3.435	4,90
350,8	960	2,74	718,4	3.600	5,01
385,9	1.140	2,95	735,4	3.765	5,12
402,3	1.230	3,06	770,5	4.110	5,33
418,4	1.320	3,16	802,8	4.440	5,53

TABLA 5.103.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3620

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
42,8	30	0,70	469,8	1.350	2,87
94,7	90	0,95	486,5	1.440	2,96
132,0	150	1,14	523,6	1.650	3,15
162,7	210	1,29	541,0	1.755	3,24
201,6	300	1,49	558,3	1.860	3,33
218,8	345	1,58	595,7	2.100	3,53
235,0	390	1,66	630,8	2.340	3,71
274,2	510	1,86	647,9	2.460	3,80
309,0	630	2,04	665,3	2.585	3,89
325,0	690	2,12	700,6	2.850	4,07
344,4	765	2,22	734,6	3.120	4,25
380,1	915	2,41	751,4	3.255	4,33
396,8	990	2,49	767,7	3.390	4,42
416,2	1.080	2,60	802,5	3.690	4,60
452,7	1.260	2,78	819,5	3.840	4,69

TABLA 5.104.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3617

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
45,0	30	0,67	476,3	1.260	2,65
100,1	90	0,90	494,4	1.350	2,73
138,4	150	1,08	528,7	1.530	2,89
177,8	225	1,27	544,8	1.620	2,97
217,4	315	1,45	563,7	1.725	3,06
235,0	360	1,53	599,2	1.935	3,23
252,2	405	1,61	633,1	2.145	3,39
282,8	495	1,75	651,8	2.265	3,48
302,0	555	1,84	670,2	2.385	3,56
320,1	615	1,92	705,4	2.625	3,72
353,8	735	2,08	740,6	2.880	3,89
388,5	870	2,24	758,8	3.015	3,97
407,0	945	2,32	776,3	3.150	4,06
424,5	1.020	2,40	810,5	3.420	4,22
457,6	1.170	2,56	825,7	3.540	4,29

TABLA 5.105.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3632

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
50,0	30	0,60	495,8	1.215	2,45
107,4	90	0,84	512,0	1.290	2,52
148,9	150	1,01	549,4	1.470	2,68
183,0	210	1,15	567,1	1.560	2,75
212,6	270	1,27	584,4	1.650	2,82
251,6	360	1,43	620,3	1.845	2,97
269,1	405	1,51	636,5	1.935	3,04
285,9	450	1,57	654,3	2.040	3,12
321,8	555	1,73	689,0	2.220	3,22
341,0	615	1,80	703,5	2.340	3,33
363,6	690	1,90	722,3	2.460	3,41
409,4	855	2,09	758,6	2.700	3,56
426,2	920	2,16	776,2	2.820	2,63
443,5	990	2,23	793,0	2.940	3,71
479,0	1.140	2,38	829,9	3.180	3,83

TABLA 5.106.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3640

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
81,5	60	0,74	496,2	1.170	2,36
130,3	120	0,92	529,6	1.320	2,49
168,5	180	1,07	548,8	1.410	2,57
201,0	240	1,19	567,4	1.500	2,64
242,9	330	1,36	602,8	1.680	2,79
261,9	375	1,43	619,9	1.770	2,86
279,9	420	1,50	639,1	1.875	2,93
312,6	510	1,63	676,6	2.055	3,04
333,0	570	1,71	694,4	2.190	3,15
352,6	630	1,79	711,8	2.295	3,22
388,4	750	1,93	747,9	2.520	3,37
405,8	810	2,00	766,4	2.640	3,44
421,8	870	2,06	784,6	2.760	3,52
460,7	1.020	2,21	819,5	3.000	3,66
478,6	1.095	2,29	829,5	3.060	3,69

TABLA 5.107

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-1

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 1,71%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
76,73	23,95
67,98	14,48
57,67	9,42
50,91	6,98
47,74	5,53
42,47	4,14
36,26	2,80
34,57	2,41

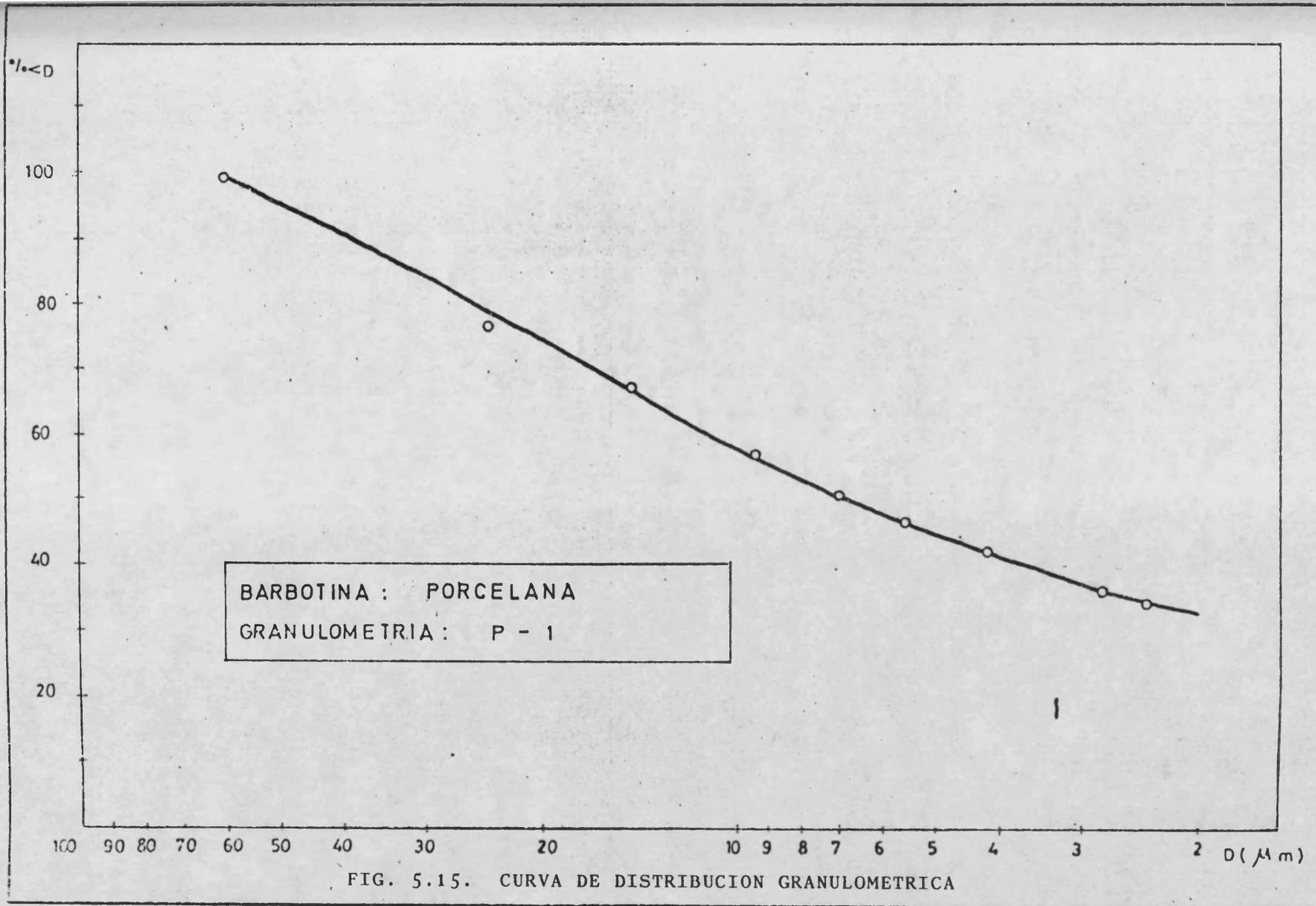


TABLA 5.108

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-2

Rechazo tamiz 60  $\mu$ m = 0,34%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu</math>m)</u>
80,30	23,95
68,70	14,52
58,96	9,45
52,32	7,00
48,18	5,54
42,59	4,15
36,27	2,81
33,78	2,42

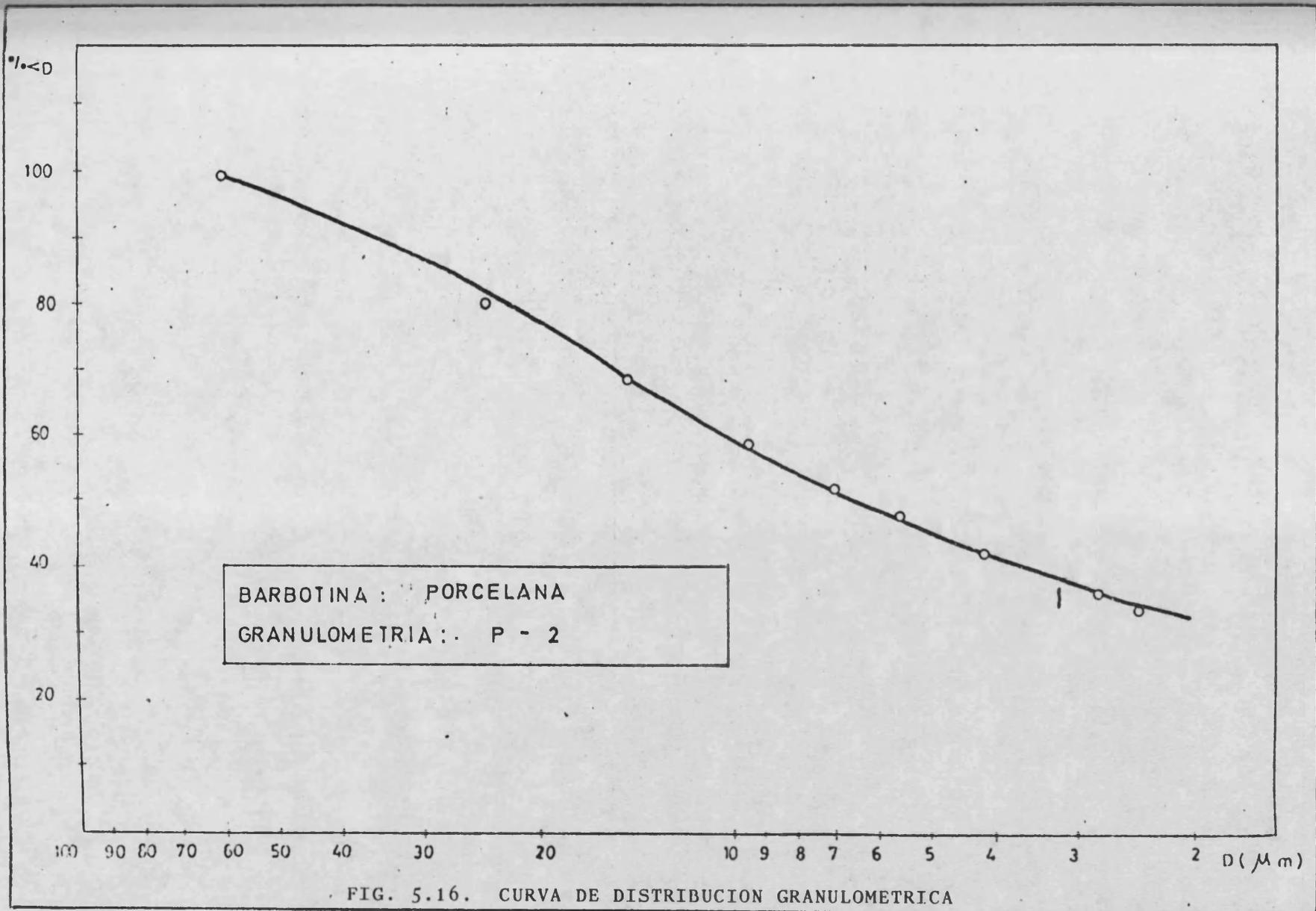


TABLA 5.109

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-3

Rechazo tamiz: 60  $\mu\text{m}$  = 1,25%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
82,38	25,28
69,40	15,32
59,55	9,97
54,34	7,39
49,83	5,85
44,70	4,38
38,42	2,97
36,54	2,60

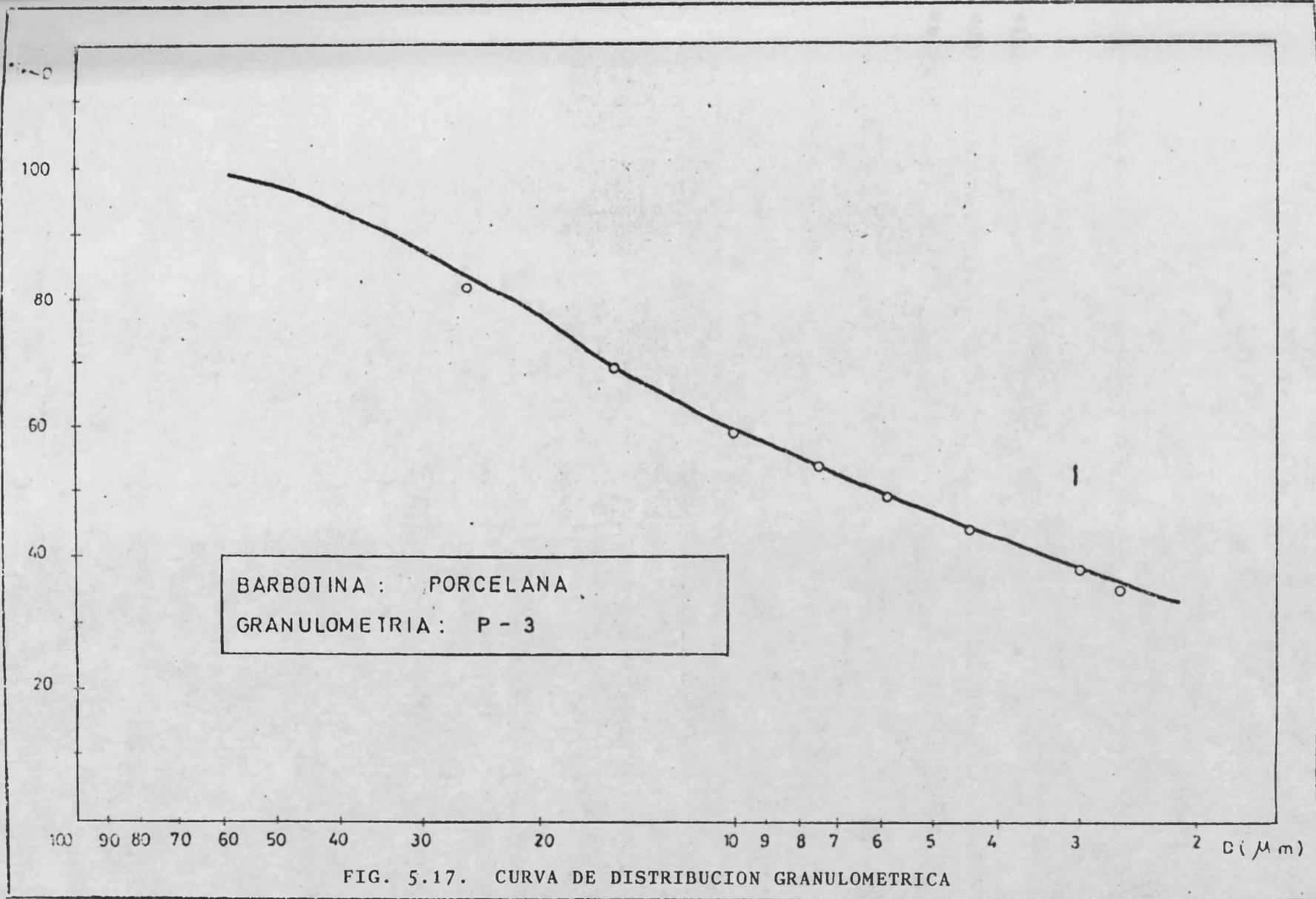


FIG. 5.17. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

TABLA 5.110

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-4

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,39%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
83,69	25,28
72,96	15,32
63,69	9,97
56,04	7,39
50,89	5,85
46,04	4,38
39,13	2,97
36,63	2,60

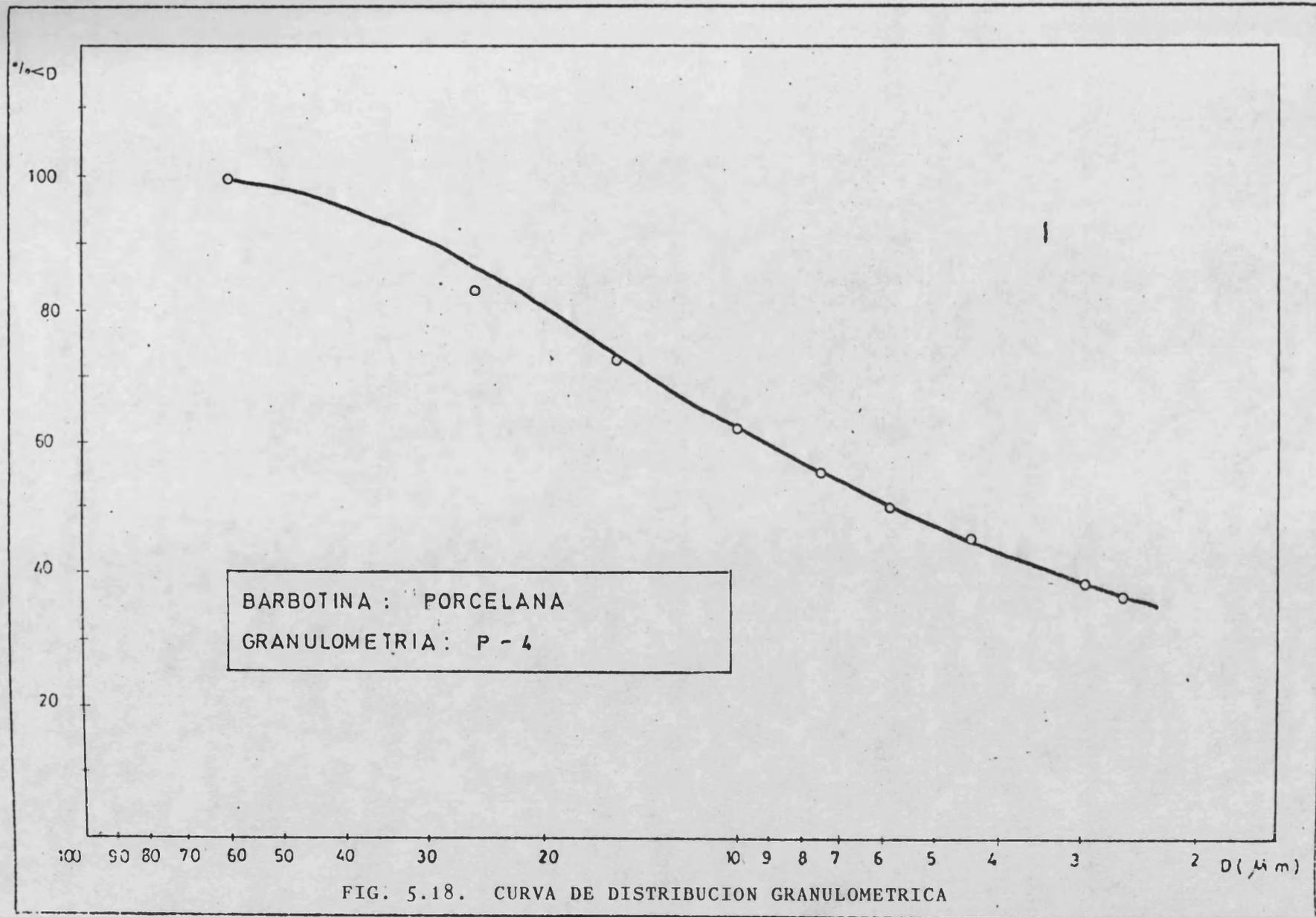


TABLA 5.111

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-5

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
85,58	23,95
73,92	14,48
61,67	9,42
55,21	6,98
48,29	5,51
41,94	4,13
36,15	2,80
33,68	2,41

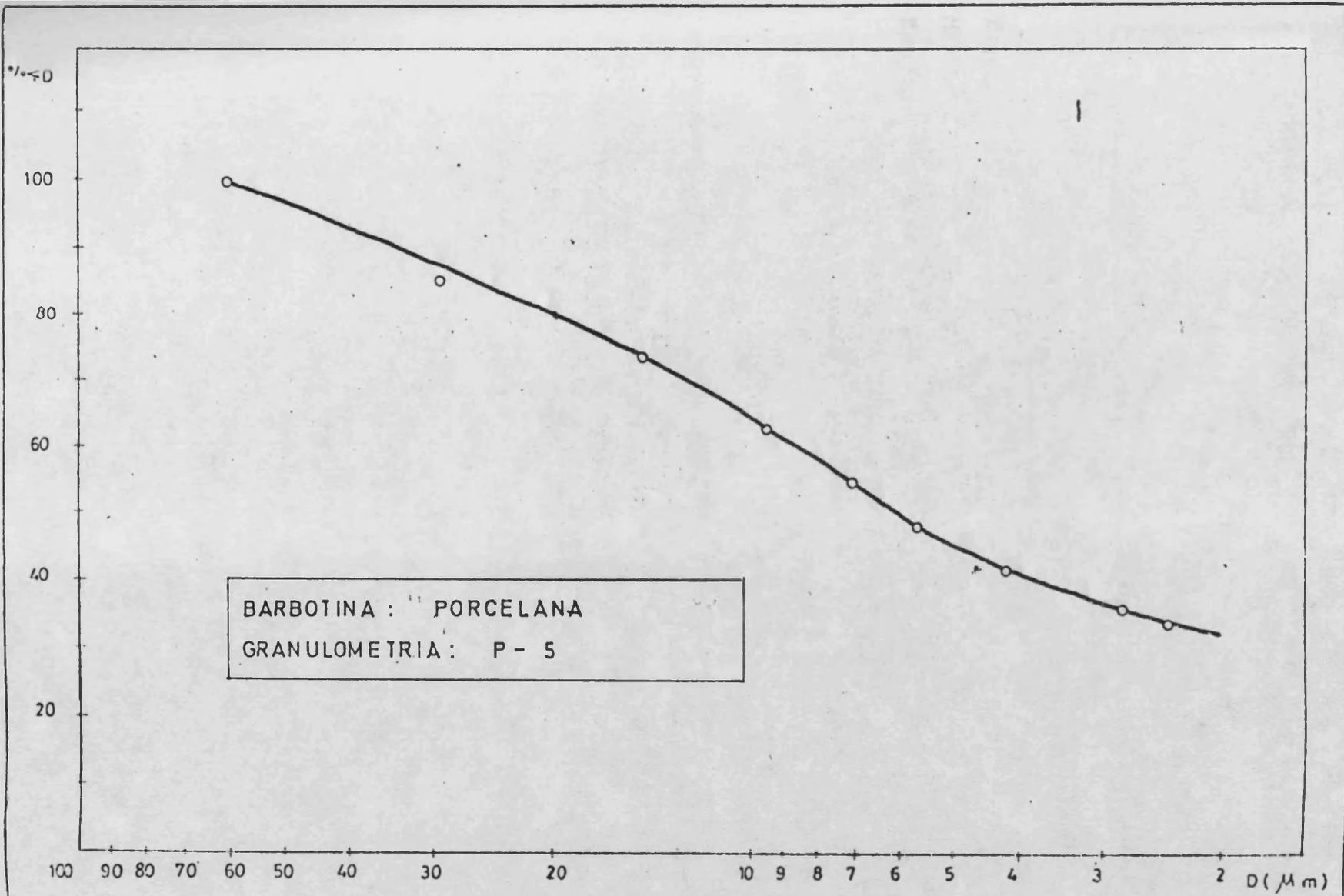


FIG. 5.19. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

TABLA 5.112

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-6

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

<u>Partículas &lt; D</u> <u>(%)</u>	<u>Diámetro</u> <u>equivalente D (<math>\mu\text{m}</math>)</u>
87,88	24,20
78,85	14,67
66,51	9,46
58,54	7,06
51,14	5,59
45,16	4,18
39,19	2,83
35,38	2,23

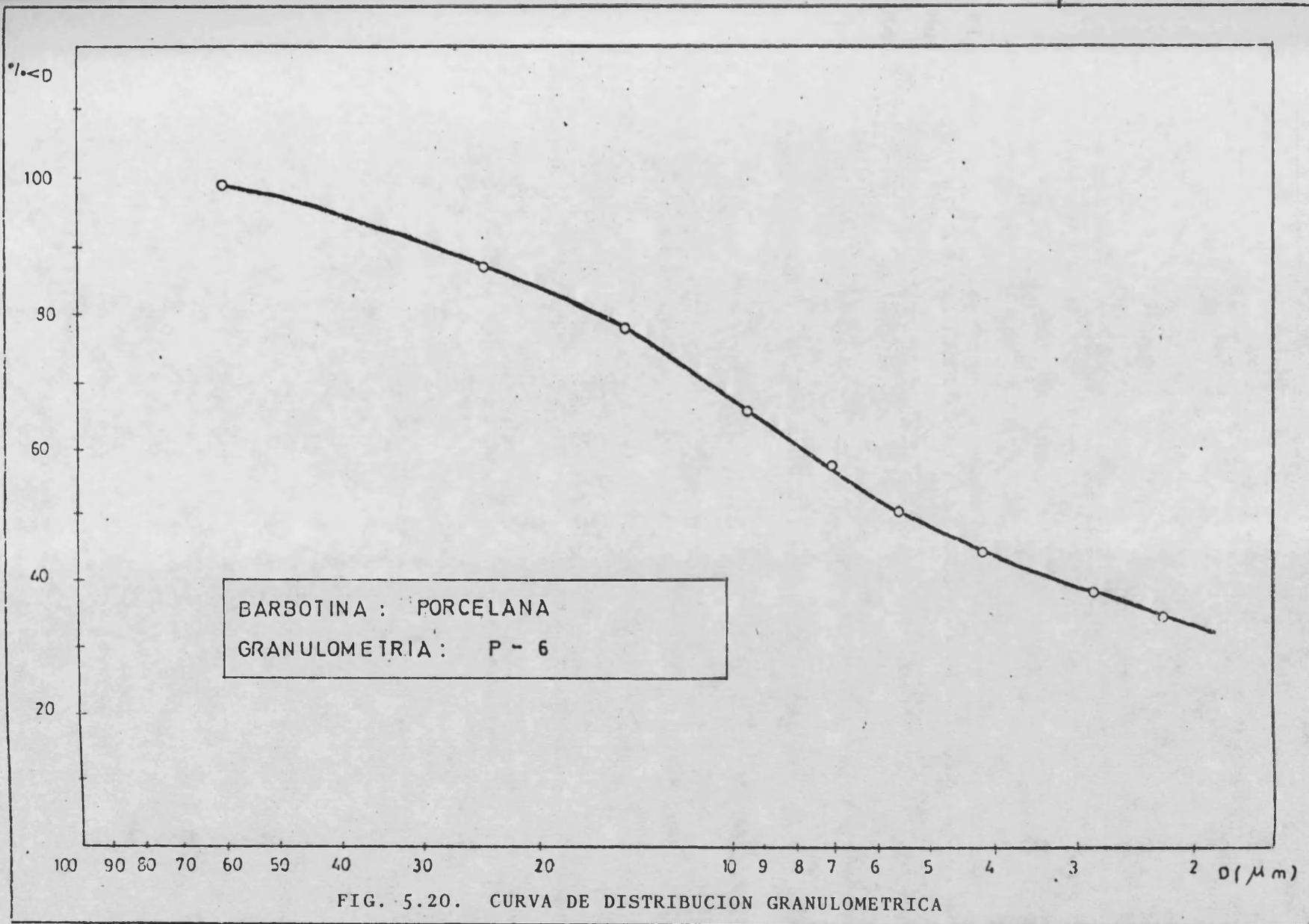


TABLA 5.113

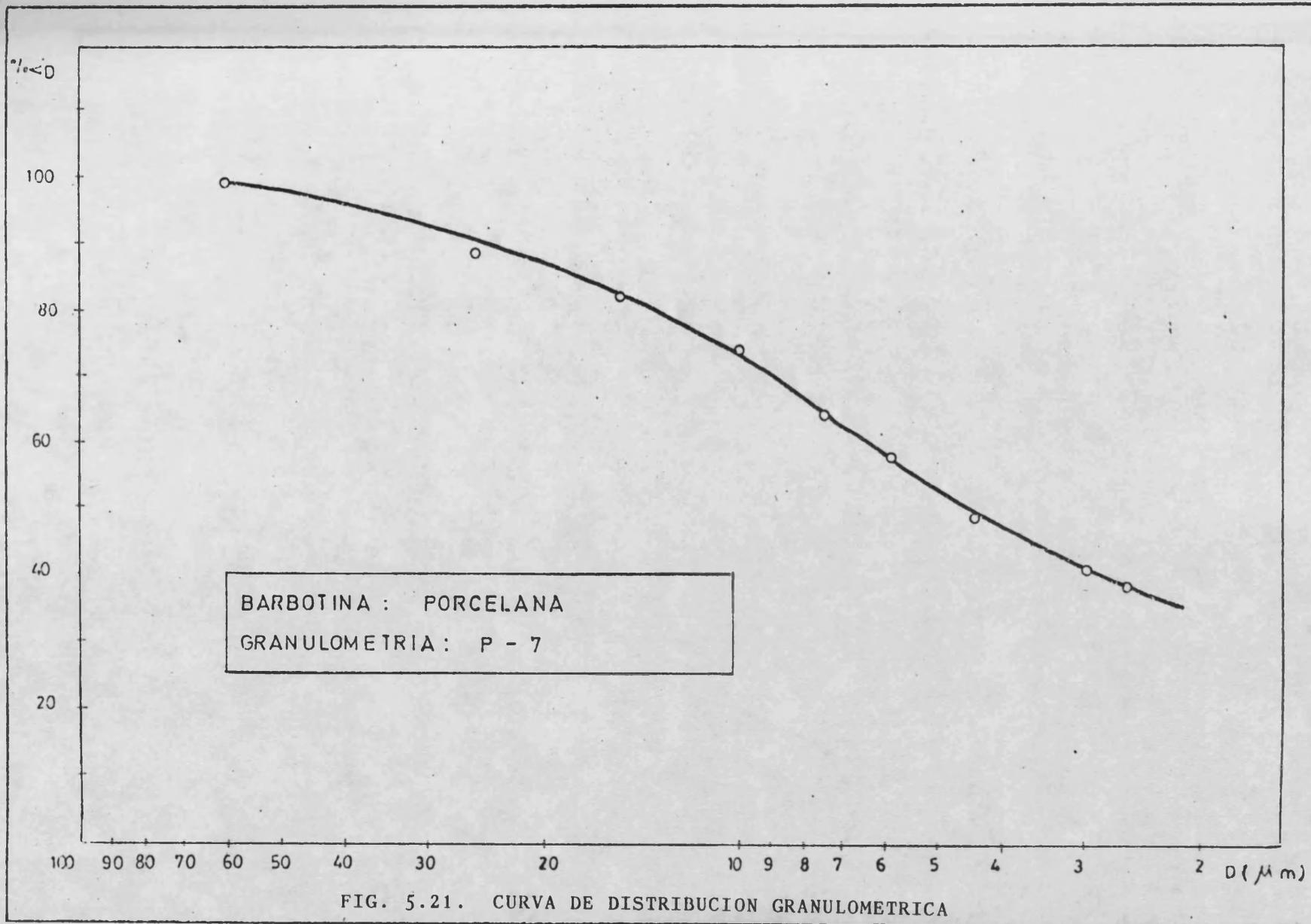
## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Porcelana

Muestra: P-7

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
89,16	25,28
23,19	15,32
74,77	9,97
65,10	7,37
58,83	5,84
49,28	4,37
41,47	2,96
38,83	2,59



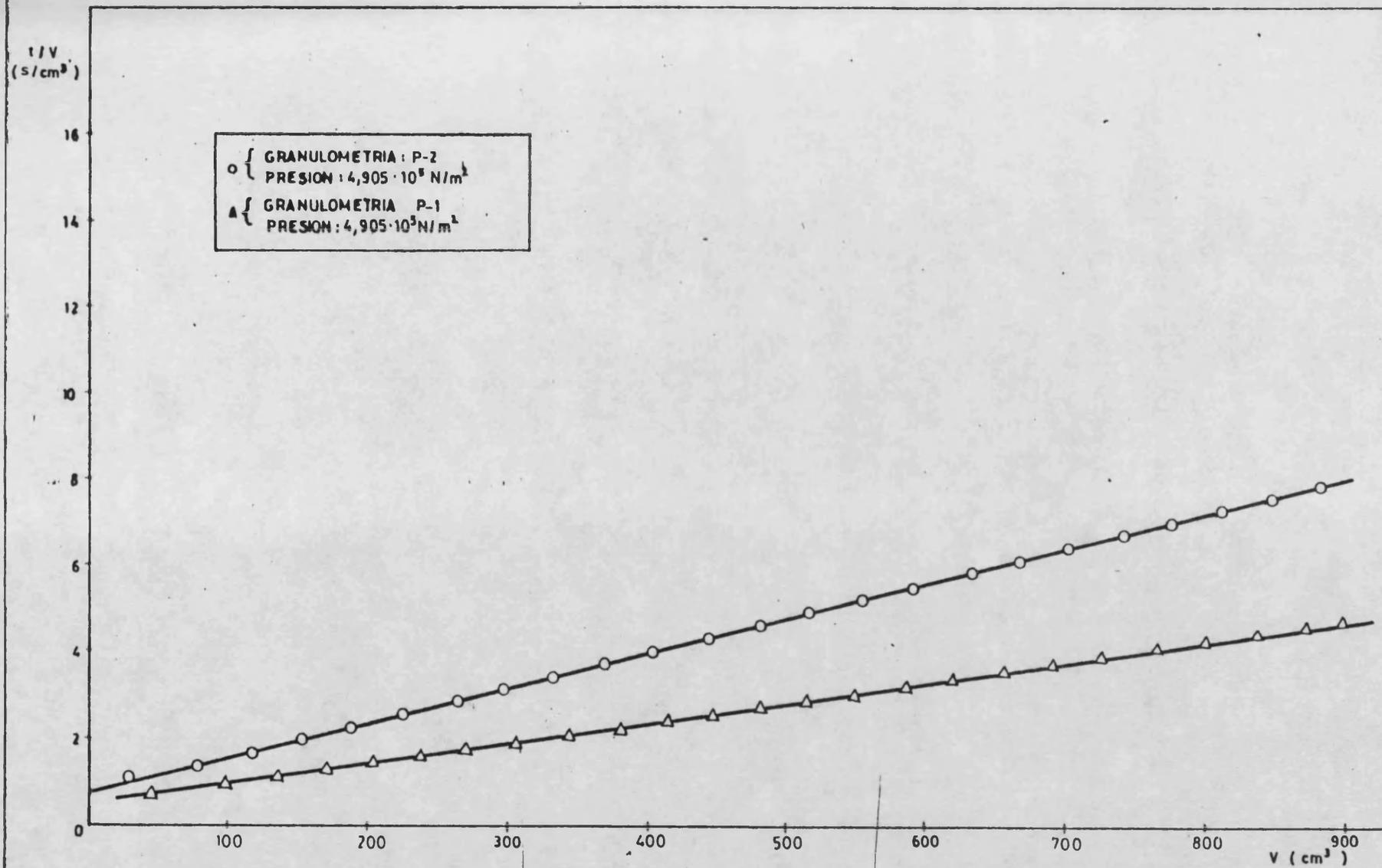


FIG. 5.22. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina porcenala.

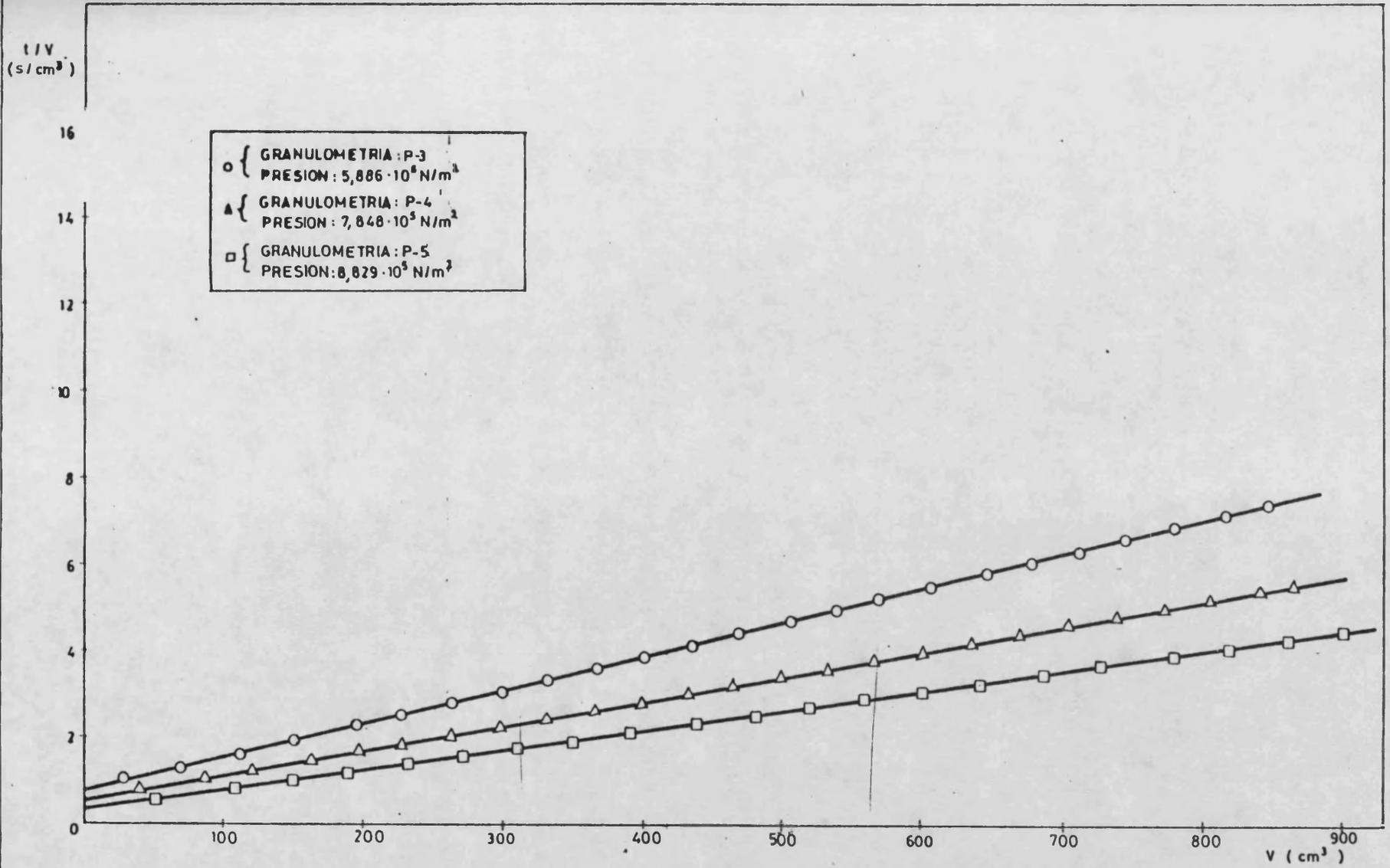


FIG. 5.23. . Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina porcelana.

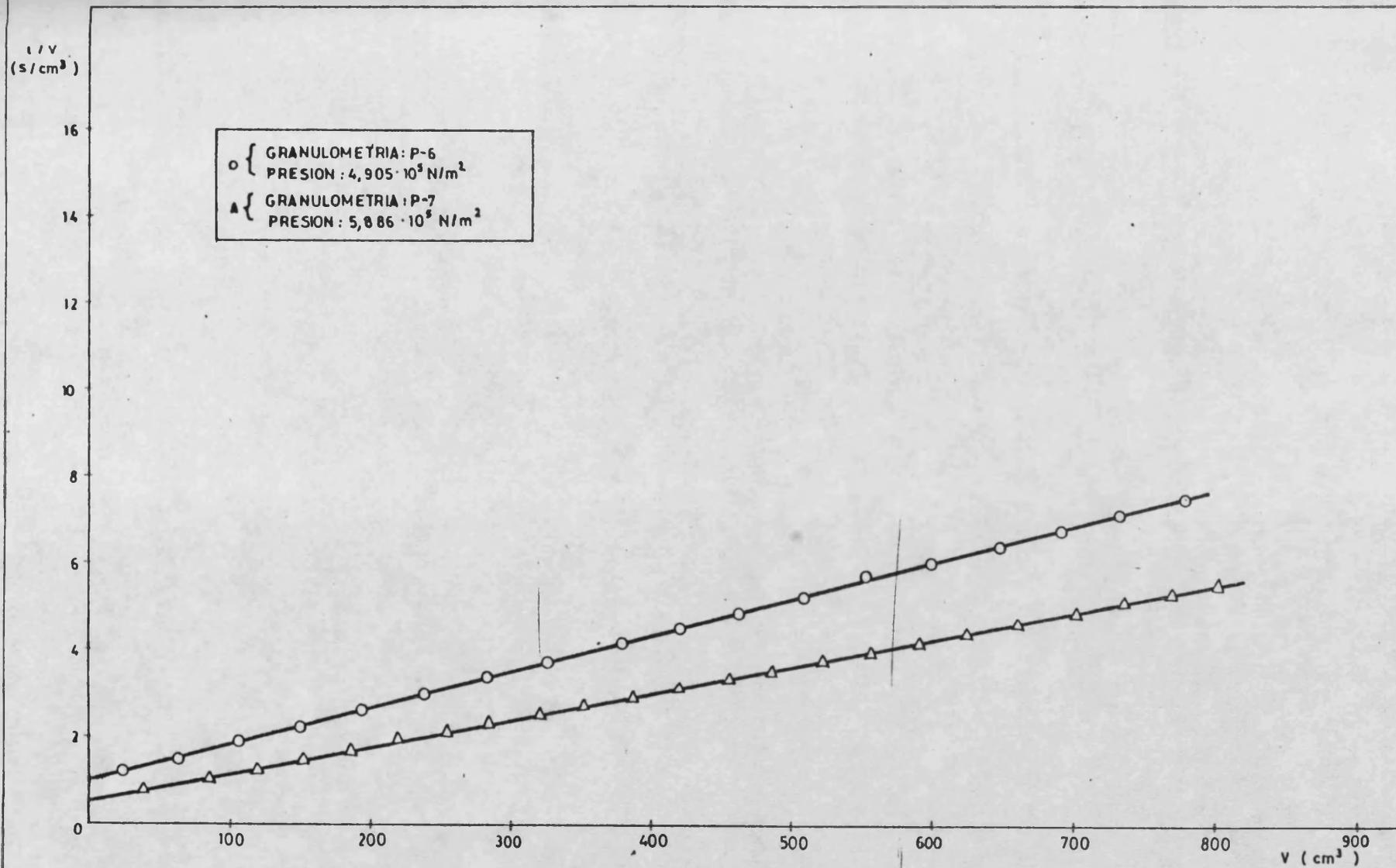


FIG. 5.24. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina porcelana.

En la figura 5.22 aparecen representados los datos experimentales recogidos en las tablas 5.75 y 5.81. En la figura 5.23, los correspondientes a las tablas 5.86, 5.92 y 5.98 y en la figura 5.24, los correspondientes a las tablas 5.101 y 5.105. Como se indicó en el caso de la barbotina feldespática II, se observa la adecuación de los datos a la teoría y también aquí son aplicables las consideraciones finales allí indicadas.

#### 5.4. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA BARBOTINA CALCAREA.

De nuevo se siguió la misma pauta que en las barbotinas anteriores para la selección de los experimentos a realizar que en este caso fueron 31.

Las tablas 5.113 a 5.143 recogen los valores de  $t/V$  en función de  $V$  correspondientes a los distintos experimentos.

En las tablas 5.144 a 5.150 aparecen tabuladas las curvas granulométricas de cada una de las barbotinas obtenidas, que se han representado gráficamente en las figuras 5.25 a 5.31.

En la figura 5.32, aparecen representados los datos experimentales recogidos en las tablas 5.119 y 5.128. En la figura 5.33 los correspondientes a las tablas 5.132 y 5.138 y en la figura 5.34. los correspondientes a las tablas 5.124, 5.142 y 5.146.

También son aplicables en este caso las observaciones hechas para las dos barbotinas anteriores.

TABLA 5.113.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4125

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
12,3	30	2,44	451,9	6.300	13,94
43,1	120	2,78	468,2	6.720	14,35
69,5	240	3,45	483,0	7.140	14,78
98,5	420	4,26	500,6	7.630	15,24
130,1	660	5,07	516,0	8.070	15,64
159,6	945	5,92	545,7	9.030	16,55
190,5	1.290	6,77	577,0	10.050	17,42
220,9	1.680	7,61	592,5	10.560	17,82
250,8	2.115	8,43	623,7	11.640	18,66
281,5	2.610	9,27	656,8	12.855	19,57
297,2	2.880	9,69	672,7	13.440	19,98
328,3	3.465	10,55	704,1	14.640	20,79
358,4	4.080	11,38	735,0	15.840	21,55
388,5	4.740	12,20	765,7	17.130	22,37
419,9	5.490	13,08	813,2	19.200	23,61

TABLA 5.114.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4128

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
29,2	60	2,06	479,7	6.150	12,82
64,5	180	2,79	495,2	6.540	13,21
95,4	330	3,46	511,3	6.970	13,63
126,1	525	4,17	526,2	7.380	14,03
155,4	750	4,83	542,3	7.830	14,44
186,3	1.040	5,58	557,8	8.280	14,84
217,3	1.380	6,35	573,8	8.760	15,27
248,4	1.755	7,07	604,8	9.720	16,07
278,9	2.175	7,80	620,7	10.230	16,48
309,1	2.640	8,54	652,2	11.280	17,30
323,5	2.880	8,90	687,9	12.540	18,23
354,3	3.420	9,65	718,6	13.680	19,04
385,7	4.020	10,42	750,5	14.910	19,87
417,1	4.680	11,27	783,0	16.230	20,73
448,9	5.400	12,03	813,6	17.520	21,53

TABLA 5.115.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4127

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
15,0	30	2,00	459,0	4.905	10,69
41,7	90	2,16	474,4	5.220	11,00
68,3	180	2,64	507,2	5.940	11,71
112,1	390	3,48	523,1	6.300	12,04
140,5	570	4,06	538,2	6.660	12,38
168,6	780	4,63	568,7	7.395	13,00
198,1	1.035	5,23	598,8	8.175	13,65
226,8	1.320	5,82	629,5	9.000	14,30
256,4	1.650	6,44	660,4	9.870	14,95
286,5	2.025	7,07	691,5	10.800	15,61
316,2	2.430	7,69	722,6	11.760	16,27
350,7	2.945	8,40	754,2	12.780	16,95
379,6	3.420	9,01	784,5	13.800	17,59
410,9	3.975	9,67	813,9	14.820	18,21
443,2	4.590	10,36	831,7	15.455	18,58

TABLA 5.116.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4121

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
18,0	30	1,67	444,7	4.200	9,45
47,7	90	1,89	461,0	4.500	9,76
75,4	180	2,39	476,7	4.800	10,07
103,9	300	2,89	492,0	5.100	10,37
126,7	420	3,315	506,8	5.400	10,64
151,4	570	3,77	535,5	6.000	11,20
178,0	765	4,30	568,3	6.720	11,83
205,6	990	4,82	599,1	7.440	12,42
234,3	1.260	5,38	628,5	8.160	12,98
264,5	1.575	5,96	661,3	9.000	13,61
294,2	1.920	6,53	692,6	9.840	14,21
324,6	2.310	7,12	722,6	10.680	14,78
354,9	2.730	7,63	751,6	11.520	15,33
384,6	3.180	8,27	783,5	12.480	15,93
413,9	3.660	8,84	812,4	13.440	16,54

TABLA 5.117.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4217

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
33,0	60	1,82	490,1	5.460	11,14
71,8	180	2,51	505,2	5.790	11,46
98,9	300	3,03	521,4	6.150	11,80
130,1	480	3,69	537,1	6.510	12,12
162,5	705	4,34	552,4	6.870	12,44
193,1	960	4,97	569,4	7.275	12,78
224,4	1.260	5,62	589,3	7.650	13,09
255,8	1.605	6,27	600,1	8.055	13,42
287,6	1.995	6,94	636,6	9.000	14,14
318,6	2.415	7,58	667,2	9.870	14,80
350,0	2.880	8,23	698,6	10.770	15,42
380,6	3.375	8,87	731,0	11.745	16,07
410,7	3.900	9,50	763,1	12.760	16,71
441,9	4.485	10,15	794,7	13.770	17,33
475,0	5.145	10,83	827,9	14.880	17,97

TABLA 5.118.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3258

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
34,7	60	1,73	578,9	6.510	11,25
86,7	225	2,60	599,5	6.960	11,61
131,4	435	3,31	620,6	7.440	11,99
172,5	690	4,00	641,9	7.950	12,39
214,4	1.020	4,76	663,0	8.460	12,76
256,0	1.410	5,51	685,1	9.015	13,16
297,0	1.860	6,25	707,4	9.600	13,57
344,1	2.430	7,06	729,6	10.200	13,98
387,8	3.035	7,83	751,3	10.800	14,38
432,0	3.720	8,61	772,1	11.400	14,77
474,4	4.440	9,36	798,7	12.180	15,25
494,2	4.800	9,71	818,5	12.780	15,61
516,4	5.220	10,10	860,3	14.100	16,39
537,4	5.640	10,50	902,8	15.510	17,18
558,1	6.060	10,86	932,4	16.740	17,95

TABLA 5.119.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3250

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
52,8	60	1,14	578,4	4.920	8,51
114,2	225	1,97	599,5	5.280	8,81
155,0	395	2,55	626,7	5.760	9,19
196,1	615	3,14	646,4	6.120	9,47
239,5	900	3,76	668,5	6.540	9,78
280,4	1.215	4,33	689,8	6.960	10,09
324,5	1.605	4,95	716,7	7.505	10,47
366,3	2.025	5,53	743,3	8.075	10,86
407,6	2.490	6,11	795,5	8.715	10,96
448,9	3.000	6,68	821,6	9.840	11,98
469,1	3.270	6,97	842,2	10.335	12,27
490,8	3.570	7,27	864,4	10.875	12,58
513,6	3.900	7,59	885,6	11.400	12,87
535,3	4.230	7,90	927,0	12.480	13,46
556,4	4.560	8,20	944,4	13.020	13,79

TABLA 5.120.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3240

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
29,1	30	1,03	587,7	4.620	7,86
80,5	125	1,55	610,8	4.980	8,15
121,0	250	2,05	637,9	5.420	8,50
163,8	420	2,56	658,2	5.760	8,75
211,7	670	3,17	679,8	6.135	9,03
253,3	930	3,67	700,6	6.510	9,29
301,7	1.290	4,28	721,9	6.900	9,56
344,7	1.665	4,83	742,6	7.305	9,84
391,1	2.105	5,38	765,6	7.740	10,11
433,4	2.565	5,92	789,9	8.235	10,43
477,6	3.090	6,47	810,9	8.670	10,69
498,8	3.360	6,74	834,8	9.180	11,00
520,2	3.645	7,01	878,3	10.140	11,55
542,9	3.970	7,31	919,4	11.130	12,11
564,9	4.275	7,57	940,8	11.640	12,37

TABLA 5.121.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3245

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
62,2	75	1,21	604,2	4.560	7,55
133,5	270	2,02	626,2	4.890	7,81
177,2	450	2,54	647,7	5.220	8,06
221,3	675	3,05	668,3	5.550	8,31
264,6	940	3,55	691,9	5.940	8,59
305,0	1.230	4,03	712,8	6.300	8,84
344,6	1.560	4,53	735,0	6.690	9,50
387,1	1.935	5,00	755,1	7.050	9,34
430,5	2.370	5,51	779,3	7.500	9,62
475,8	2.870	6,03	801,2	7.920	9,89
496,7	3.120	6,28	826,4	8.415	10,18
518,7	3.390	6,54	850,9	8.910	10,47
539,4	3.660	6,79	872,5	9.360	10,73
562,6	3.970	7,06	896,5	9.870	11,01
583,4	4.260	7,30	928,7	10.605	11,42

TABLA 5.122.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4130

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
11,8	30	2,54	496,7	7.290	14,68
24,0	60	2,51	512,6	7.740	15,01
68,9	240	3,48	528,8	8.220	15,55
98,6	420	4,26	545,4	8.700	15,95
137,4	735	5,35	561,2	9.180	16,36
170,8	1.050	6,15	576,5	9.660	16,76
201,2	1.395	6,93	592,5	10.170	17,17
232,3	1.800	7,75	623,6	11.220	17,99
264,3	2.280	8,63	655,0	12.300	18,78
301,6	2.910	9,65	686,3	13.440	19,58
334,3	3.495	10,46	718,2	14.640	20,38
365,2	4.110	11,25	750,4	15.870	21,15
397,6	4.800	12,07	781,8	17.160	21,95
430,8	5.580	12,95	812,5	18.510	22,78
464,3	6.420	13,83	822,2	18.990	23,10

TABLA 5.123.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4126

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
30,5	60	1,97	487,0	5.760	11,83
67,8	180	2,66	502,4	6.130	12,19
96,3	315	3,27	520,0	6.540	12,58
128,3	510	3,98	537,3	6.960	12,95
160,3	750	4,68	554,2	7.380	13,32
192,9	1.035	5,37	570,4	7.800	13,68
228,3	1.410	6,16	586,1	8.220	14,03
260,7	1.785	6,85	602,7	8.670	14,39
293,4	2.220	7,57	618,7	9.120	14,74
324,9	2.685	8,26	653,0	10.110	15,48
357,5	3.210	8,98	686,6	11.130	16,21
389,2	3.765	9,67	719,2	12.180	17,29
421,2	4.380	10,40	752,6	13.290	17,66
454,0	5.040	11,10	787,0	14.490	18,41
471,1	5.410	11,48	809,0	15.345	18,97

TABLA 5.124.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4152

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
33,9	60	1,77	497,6	5.310	10,67
74,4	180	2,42	513,6	5.640	10,98
104,9	315	3,00	530,9	6.015	11,33
139,8	510	3,65	546,8	6.360	11,63
169,8	720	4,24	562,5	6.720	11,95
200,7	975	4,86	579,3	7.110	12,27
233,7	1.290	5,52	595,8	7.500	12,59
283,1	1.830	6,46	612,9	7.920	12,92
314,4	2.220	7,06	629,8	8.340	13,24
346,4	2.670	7,71	663,6	9.225	13,90
378,5	3.150	8,32	695,8	10.110	14,53
403,2	3.555	8,82	731,9	11.145	15,23
433,5	4.080	9,41	764,6	12.120	15,85
465,6	4.680	10,05	796,4	13.110	16,46
481,3	4.980	10,35	816,6	13.785	16,88

TABLA 5.125.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4135

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
36,9	60	1,63	500,9	4.815	9,61
78,9	180	2,28	517,7	5.130	9,91
111,6	315	2,82	534,6	5.460	10,21
145,4	495	3,40	551,2	5.790	10,50
180,5	720	3,99	567,3	6.120	10,79
213,6	975	4,57	584,0	6.480	11,10
245,6	1.260	5,13	600,7	6.840	11,39
277,7	1.575	5,67	616,4	7.200	11,68
308,7	1.920	6,22	633,5	7.590	11,98
340,5	2.310	6,78	667,4	8.400	12,59
372,3	2.730	7,33	701,0	9.240	13,18
403,2	3.180	7,89	738,3	10.230	13,86
436,0	3.690	8,46	773,1	11.190	14,47
468,3	4.230	9,03	812,1	12.330	15,18
484,4	4.515	9,32	822,6	12.650	15,38

TABLA 5.126.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4140

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
13,2	30	2,27	489,2	6.300	12,88
44,2	120	2,72	505,1	6.690	13,25
76,3	255	3,34	520,9	7.095	13,62
110,1	450	4,09	536,4	7.500	13,98
143,5	705	4,91	551,9	7.920	14,35
177,0	1.005	5,68	567,9	8.370	14,74
209,4	1.350	6,45	583,8	8.820	15,11
241,7	1.725	7,14	600,0	9.300	15,50
272,7	2.130	7,82	632,7	10.290	16,26
305,9	2.625	8,58	666,7	11.340	17,01
337,4	3.150	9,34	699,8	12.450	17,79
369,0	3.720	10,08	725,1	13.290	18,33
404,3	4.410	10,91	744,8	13.980	18,77
437,1	5.100	11,67	776,0	15.195	19,58
473,5	5.925	12,51	800,9	16.200	20,23

TABLA 5.127.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4140

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
15,6	30	1,92	488,0	5.370	11,00
52,0	120	2,31	503,5	5.700	11,32
86,5	255	2,95	519,9	6.060	11,66
117,7	420	3,57	535,8	6.420	11,98
149,7	630	4,21	552,8	6.810	12,32
187,5	930	4,96	569,1	7.200	12,65
220,6	1.245	5,64	585,2	7.590	12,97
253,2	1.590	6,28	600,8	7.980	13,28
285,4	1.980	6,94	617,0	8.400	13,61
317,0	2.400	7,57	649,7	9.270	14,27
351,9	2.910	8,27	682,8	10.200	14,94
387,3	3.480	8,99	715,8	11.160	15,59
423,4	4.110	9,71	749,7	12.180	16,25
456,1	4.725	10,36	779,8	13.140	16,85
472,1	5.040	10,68	814,1	14.310	17,58

TABLA 5.128.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4176

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
16,1	30	1,86	496,4	5.220	10,52
54,3	120	2,21	512,6	5.550	10,83
86,8	240	2,77	528,3	5.880	11,13
117,6	390	3,32	544,6	6.240	11,46
150,9	600	3,98	562,6	6.630	11,79
182,9	840	4,59	579,5	7.020	12,11
214,3	1.110	5,18	596,7	7.425	12,44
247,8	1.440	5,81	613,4	7.830	12,77
280,4	1.800	6,42	629,5	8.235	13,08
314,4	2.220	7,06	661,6	9.060	13,69
365,0	2.925	8,01	693,6	9.930	14,32
396,8	3.420	8,62	725,9	10.830	14,93
429,0	3.960	9,23	756,8	11.760	15,54
462,2	4.560	9,87	788,9	12.750	16,16
479,8	4.890	10,19	820,4	13.800	16,82

TABLA 5.129.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: C-4

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4197

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
33,6	60	1,79	503,5	4.560	9,06
78,7	180	2,29	520,7	4.860	9,33
112,9	315	2,79	537,7	5.175	9,62
145,8	480	3,29	554,9	5.490	9,89
184,4	720	3,91	571,0	5.805	10,17
217,0	960	4,42	589,9	6.180	10,48
249,3	1.230	4,93	606,1	6.510	10,74
281,0	1.530	5,45	621,8	6.840	11,00
315,1	1.890	6,00	638,6	7.200	11,28
351,1	2.310	6,58	654,8	7.560	11,55
388,8	2.730	7,11	686,3	8.280	12,07
416,3	3.180	7,64	718,9	9.060	12,60
452,3	3.720	8,23	752,5	9.900	13,16
472,4	4.040	8,55	785,2	10.770	13,72
487,5	4.290	8,80	794,2	10.955	13,79

TABLA 5.130.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,4151

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
24,9	30	1,21	501,7	4.530	9,03
63,5	120	1,47	518,7	4.830	9,31
98,1	240	2,45	535,1	5.130	9,59
130,8	390	2,98	551,1	5.430	9,86
163,0	570	3,50	567,3	5.745	10,13
194,7	780	4,01	583,2	6.060	10,39
228,0	1.035	4,54	599,2	6.390	10,66
260,6	1.320	5,07	615,5	6.735	10,94
292,5	1.635	5,59	650,7	7.500	11,53
324,4	1.980	6,10	684,3	8.290	12,10
357,3	2.370	6,63	718,7	9.120	12,69
389,2	2.790	7,17	751,6	9.960	13,25
421,2	3.240	7,69	783,0	10.800	13,79
453,8	3.735	8,23	815,2	11.700	14,35
485,9	4.260	8,77	829,2	12.120	14,62

TABLA 5.131.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos:

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
35,3	30	0,85	588,1	5.490	9,34
78,8	120	1,52	609,0	5.880	9,66
118,8	255	2,15	629,5	6.285	9,98
160,6	450	2,80	653,1	6.765	10,36
203,4	705	3,47	671,8	7.170	10,67
246,2	1.020	4,14	692,1	7.620	11,01
288,7	1.395	4,83	712,7	8.100	11,37
331,7	1.800	5,43	730,2	8.520	11,67
373,1	2.250	6,03	749,3	8.940	11,93
415,4	2.775	6,68	769,6	9.420	12,24
457,3	3.360	7,35	794,0	10.020	12,62
497,6	3.990	8,02	815,3	10.575	12,97
522,0	4.380	8,39	835,0	11.100	13,29
543,7	4.740	8,72	830,5	12.360	14,04
566,2	5.100	9,01	902,2	13.020	14,43

TABLA 5.132.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $5,886 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3580

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
23,8	30	1,26	513,7	4.840	9,42
76,3	150	1,97	540,9	5.370	9,93
117,4	315	2,68	562,2	5.760	10,25
159,5	540	3,39	583,0	6.180	10,60
200,8	825	4,11	603,0	6.600	10,95
241,9	1.185	4,90	625,0	7.080	11,33
284,3	1.575	5,54	644,5	7.560	11,73
333,0	2.100	6,36	669,5	8.100	12,10
351,3	2.340	6,66	689,3	8.580	12,45
369,3	2.580	6,98	710,1	9.105	12,82
395,2	2.925	7,40	730,7	9.630	13,18
418,2	3.255	7,78	755,7	10.230	13,54
441,2	3.635	8,24	787,4	11.160	14,71
464,8	3.990	8,58	828,1	12.330	14,89
488,8	4.395	8,99	846,6	12.930	15,27

TABLA 5.133.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3401

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
25,7	30	1,17	543,6	4.290	7,89
67,8	105	1,55	566,4	4.620	8,16
117,8	260	2,21	587,1	4.950	2,43
160,6	450	2,80	608,2	5.295	8,71
204,0	690	3,38	628,3	5.640	8,98
248,6	990	3,98	649,3	6.000	9,24
290,2	1.320	4,55	670,0	6.375	9,52
332,4	1.695	5,10	694,3	6.825	9,83
373,4	2.100	5,62	714,5	7.200	10,08
415,8	2.566	6,17	735,4	7.620	10,37
435,7	2.805	6,44	757,4	8.040	10,62
456,4	3.060	6,71	778,7	8.520	10,94
478,2	3.345	7,00	804,2	9.070	11,28
501,3	3.660	7,30	846,9	10.020	11,83
523,5	3.975	7,59	887,1	11.025	12,43

TABLA 5.134.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3471

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
38,0	30	0,79	537,0	3.435	6,40
81,6	100	1,23	571,8	3.885	6,79
117,4	195	1,66	586,3	4.080	6,96
164,2	360	2,19	606,5	4.365	7,20
204,3	540	2,64	627,3	4.665	7,44
256,1	825	3,22	652,4	5.040	7,73
299,4	1.110	3,71	673,7	5.370	7,97
340,6	1.425	4,18	694,4	5.700	8,21
383,7	1.785	4,65	714,6	6.000	8,40
404,9	1.980	4,89	733,7	6.360	8,67
426,3	2.190	5,14	754,4	6.720	8,91
456,9	2.505	5,48	778,6	7.155	9,19
477,4	2.730	5,72	800,5	7.560	9,45
497,5	2.955	5,94	822,6	7.980	9,70
517,5	3.195	6,17	869,2	8.895	10,23

TABLA 5.135.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3411

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
30,4	30	0,99	542,1	3.450	6,36
75,6	105	1,39	565,5	3.720	6,58
125,7	240	1,91	586,3	3.990	6,81
194,6	510	2,62	607,5	4.275	7,04
237,6	735	3,09	628,3	4.560	7,26
232,9	1.005	3,55	650,0	4.870	7,49
323,9	1.290	3,98	670,5	5.175	7,72
343,6	1.455	4,24	691,2	5.490	7,94
338,5	1.815	4,67	712,2	5.820	8,17
413,2	2.040	4,94	734,0	6.180	8,42
434,4	2.250	5,18	756,2	6.540	8,65
458,8	2.490	5,43	777,2	6.900	8,88
478,5	2.700	5,64	799,4	7.290	9,12
500,4	2.940	5,88	820,9	7.680	9,36
511,2	3.180	6,10	835,0	7.970	9,55

TABLA 5.136.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3778

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
38,5	45	1,17	428,5	3.345	7,81
81,7	150	1,84	450,6	3.690	8,19
123,3	315	2,56	474,0	4.080	8,61
165,2	540	3,27	497,6	4.490	9,02
206,6	825	3,99	517,7	4.860	9,39
227,2	990	4,36	539,7	5.295	9,81
248,3	1.170	4,71	561,2	5.700	10,16
269,4	1.365	5,07	580,2	6.090	10,50
288,9	1.560	5,40	608,2	6.690	11,00
308,6	1.770	5,74	628,3	7.140	11,36
329,7	2.010	6,10	649,2	7.620	11,74
349,9	2.250	6,43	671,3	8.145	12,13
370,9	2.520	6,79	693,4	8.685	12,53
390,6	2.790	7,14	713,5	9.195	12,89
407,4	3.030	7,44	716,6	9.270	12,94

TABLA 5.137.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3691

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
24,3	30	1,24	490,2	3.815	7,78
63,6	105	1,65	510,2	4.125	8,09
110,3	255	2,31	533,1	4.485	8,41
153,5	450	2,93	555,0	4.840	8,72
195,3	690	3,53	577,4	5.160	8,94
236,9	975	4,12	599,5	5.615	9,37
276,0	1.290	4,67	623,3	6.045	9,70
318,7	1.680	5,27	643,1	6.450	10,03
338,9	1.890	5,78	663,6	6.885	10,38
359,3	2.100	5,85	688,4	7.336	10,66
380,0	2.340	6,16	708,7	7.770	10,96
402,5	2.610	6,49	729,4	8.225	11,28
424,0	2.880	6,79	749,8	8.685	11,58
446,2	3.180	7,13	792,1	9.660	12,20
469,7	3.510	7,47	807,1	10.320	12,79

TABLA 5.138.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3778

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
63,4	90	1,42	469,0	3.180	6,78
106,8	210	1,97	490,1	3.465	7,07
149,0	373	2,52	510,7	3.750	7,34
193,6	600	3,10	531,3	4.050	7,62
234,8	855	3,64	552,7	4.365	7,90
256,3	1.005	3,92	572,7	4.680	8,17
276,0	1.115	4,19	594,8	5.040	8,47
296,3	1.320	4,46	616,2	5.400	8,76
317,0	1.500	4,73	638,9	5.805	9,09
338,3	1.695	5,01	661,5	6.210	9,39
362,5	1.935	5,34	682,4	6.600	9,67
383,6	2.160	5,63	702,2	6.990	9,95
405,3	2.400	5,92	723,6	7.410	10,24
425,3	2.640	6,21	745,0	7.830	10,51
447,6	2.910	6,50	754,4	8.055	10,68

TABLA 5.139.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

Presión:  $12,753 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3757

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
87,4	100	1,14	409,6	2.040	4,98
118,3	180	1,52	430,3	2.250	5,23
137,2	240	1,75	451,8	2.475	5,48
158,0	315	1,99	472,0	2.700	5,72
179,6	405	2,26	492,7	2.940	5,97
202,2	510	2,52	515,0	3.210	6,23
222,4	615	2,77	536,2	3.480	6,49
242,7	735	3,03	563,4	3.840	6,82
263,6	855	3,24	584,2	4.125	7,06
284,0	990	3,49	606,1	4.440	7,33
305,1	1.140	3,74	626,2	4.740	7,57
326,7	1.305	3,99	647,9	5.070	7,83
347,3	1.470	4,23	668,9	5.400	8,07
368,1	1.650	4,48	689,0	5.730	8,32
389,4	1.845	4,74	710,9	6.090	8,57

TABLA 5.140.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3564

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$t/V \text{ (s/cm}^3\text{)}$
32,1	30	0,94	532,8	4.800	9,01
79,2	135	1,71	553,2	5.160	9,33
116,6	270	2,32	577,4	5.610	9,72
158,6	480	3,03	597,7	6.000	10,04
201,4	750	3,72	618,8	6.420	10,38
242,5	1.065	4,39	640,6	6.870	10,72
284,8	1.440	5,06	661,7	7.320	11,06
327,0	1.875	5,73	686,5	7.860	11,45
347,0	2.100	6,05	715,3	8.460	11,83
368,2	2.355	6,40	735,8	9.000	12,23
413,1	2.940	7,12	759,9	9.570	12,59
450,2	3.465	7,70	780,4	10.080	12,92
471,3	3.780	8,02	801,7	10.620	13,25
492,0	4.110	8,35	823,2	11.190	13,59
511,9	4.440	8,67	834,3	11.430	13,70

TABLA 5.141.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3504

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
49,9	60	1,20	561,2	3.960	7,06
101,7	180	1,77	582,3	4.245	7,29
151,7	360	2,37	604,5	4.560	7,54
193,2	555	2,87	621,0	4.800	7,73
235,2	795	3,38	644,0	5.160	8,01
279,2	1.085	3,89	666,2	5.490	8,24
324,3	1.425	4,39	684,8	5.790	8,46
364,6	1.770	4,86	704,8	6.120	8,68
407,6	2.190	5,36	725,6	6.480	8,93
428,9	2.400	5,60	747,7	6.870	9,19
451,2	2.640	5,86	769,2	7.260	9,44
478,0	2.940	6,15	794,4	7.740	9,74
498,8	3.180	6,38	820,7	8.250	10,05
520,1	3.435	6,60	840,0	8.655	10,30
540,3	3.690	6,83	847,7	8.795	10,38

TABLA 5.142.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3519

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
61,1	60	0,98	559,1	3.480	6,22
104,6	150	1,43	580,6	3.750	6,46
157,6	315	2,00	601,6	4.020	6,68
198,3	480	2,42	625,2	4.340	6,94
240,8	690	2,87	644,8	4.620	7,17
284,2	945	3,33	668,0	4.935	7,39
328,5	1.245	3,79	688,3	5.235	7,61
369,7	1.560	4,22	714,1	5.625	7,88
411,7	1.920	4,66	733,9	5.940	8,09
433,0	2.115	4,89	754,6	6.270	8,31
453,2	2.310	5,10	774,5	6.600	8,52
474,1	2.520	5,32	795,6	6.960	8,75
494,0	2.730	5,53	816,2	7.320	8,97
515,5	2.970	5,76	836,4	7.680	9,18
537,6	3.225	6,00	875,2	8.400	9,60

TABLA 5.143.

Volumen filtrado en función del tiempo

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

Presión:  $11,772 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Concentración inicial de sólidos: 0,3559

V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	t/V(s/cm <sup>3</sup> )
58,8	60	1,02	548,9	3.255	5,93
115,2	180	1,56	570,7	3.510	6,15
157,9	315	2,00	593,1	3.780	6,37
198,9	480	2,41	614,3	4.050	6,59
242,1	690	2,85	636,3	4.335	6,81
296,1	1.005	3,39	659,7	4.650	7,05
334,0	1.260	3,77	683,2	4.980	7,29
360,6	1.455	3,04	704,3	5.280	7,50
381,5	1.620	4,25	726,4	5.610	7,72
403,4	1.800	4,46	748,1	5.940	7,94
423,9	1.980	4,67	770,9	6.300	8,17
443,9	2.160	4,87	793,1	6.660	8,40
465,6	2.370	5,09	814,7	7.020	8,62
486,7	2.580	5,30	836,7	7.380	8,83
526,2	3.000	5,70	653,4	7.700	9,62

TABLA 5.144

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-1

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,35%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D. ( $\mu\text{m}$ )
85,64	24,13
77,35	14,63
68,53	9,52
60,74	7,05
54,07	5,58
49,01	4,18
43,71	2,84
42,26	2,52

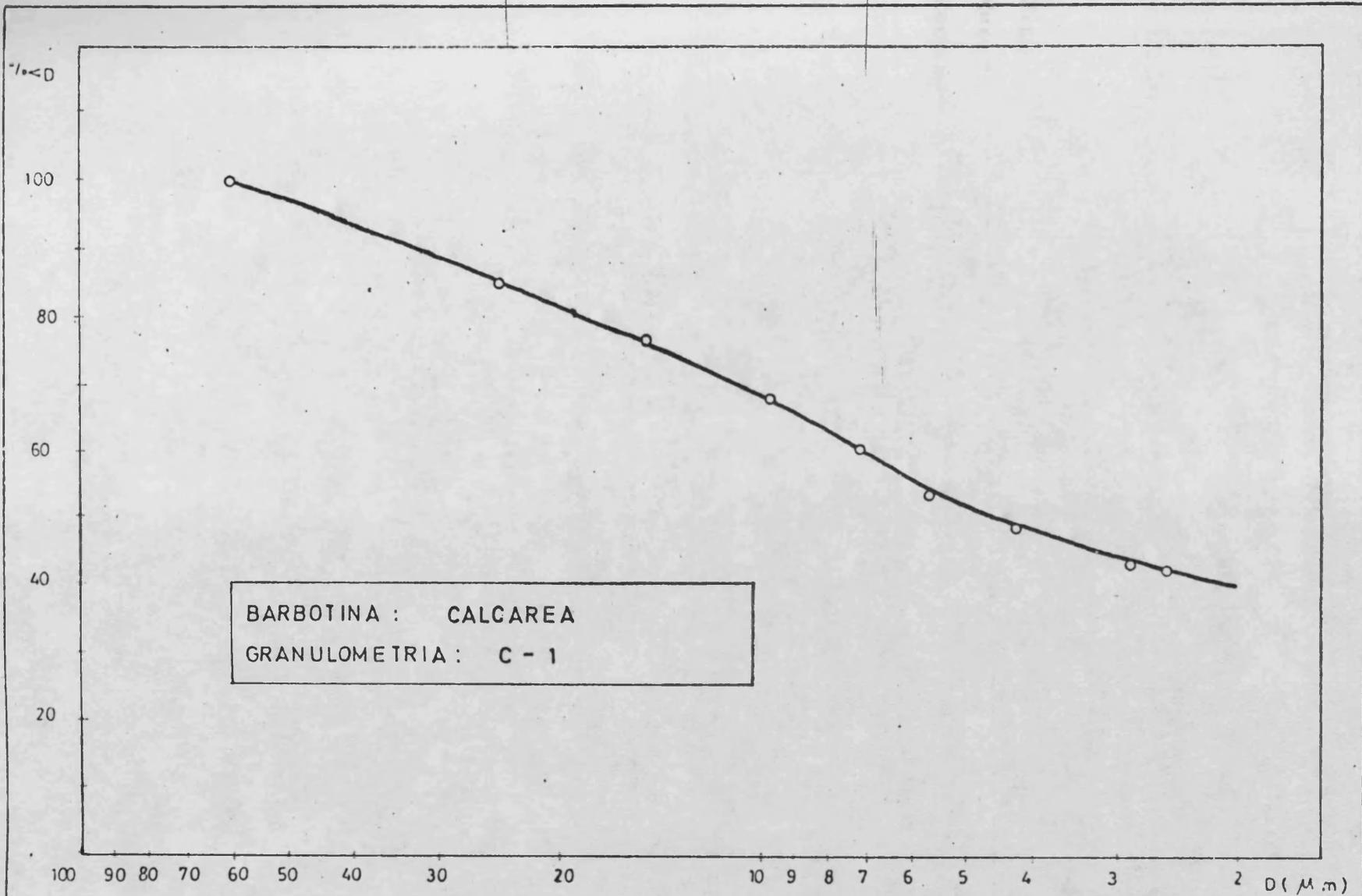


FIG. 5.25. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



TABLA 5.145

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-2

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,07%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
85,67	22,70
79,94	13,76
66,81	8,96
60,08	6,64
55,73	5,26
49,86	3,93
43,69	2,67
40,99	2,18

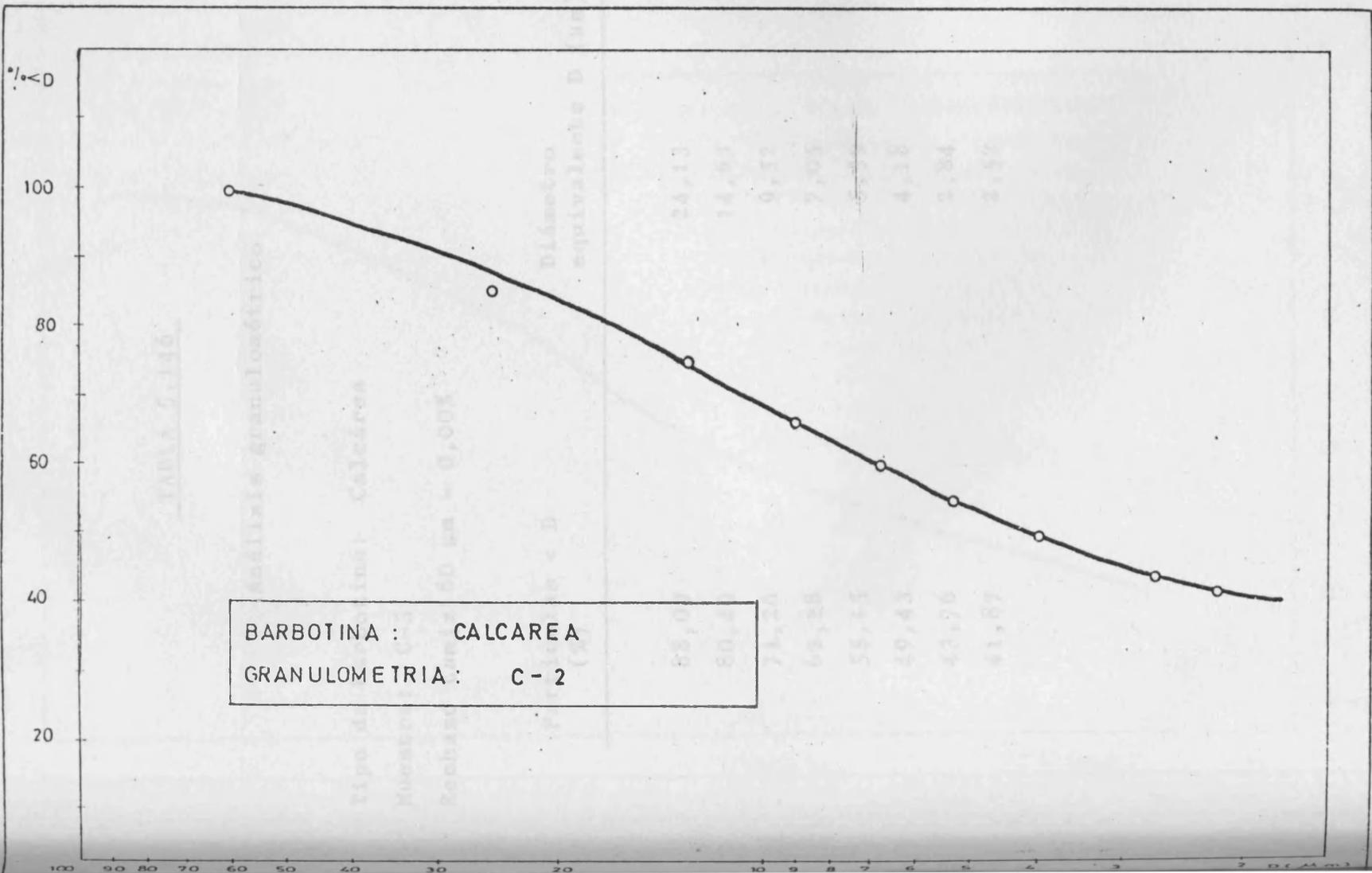


TABLA 5.146

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-3

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
88,09	24,13
80,49	14,63
71,26	9,52
62,28	7,05
55,15	5,59
49,43	4,18
43,76	2,84
41,87	2,52

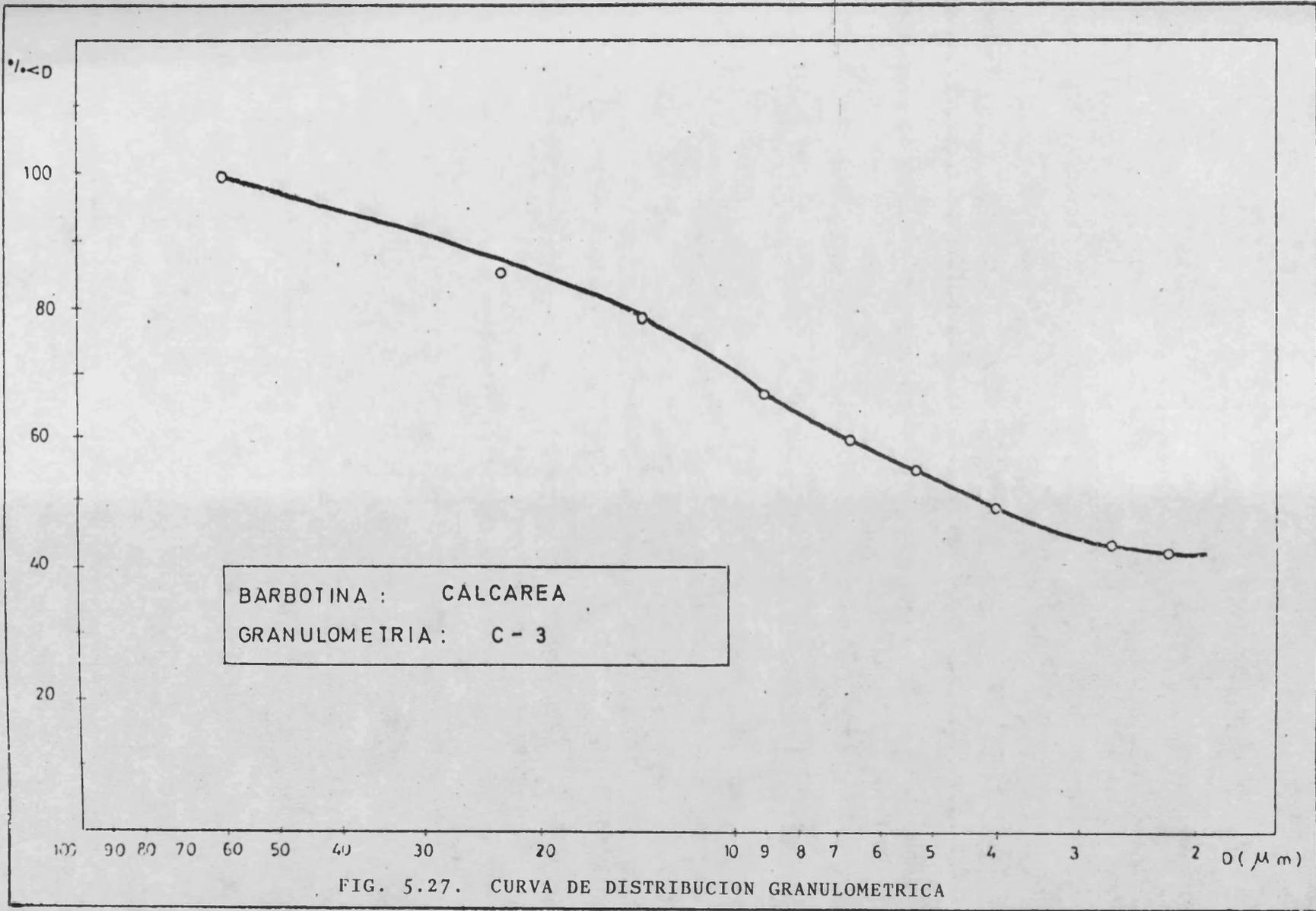


TABLA 5.147

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-4

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
90,13	24,13
83,93	14,63
72,17	9,49
62,21	7,03
56,33	5,57
50,83	4,17
44,20	2,83
41,87	2,51

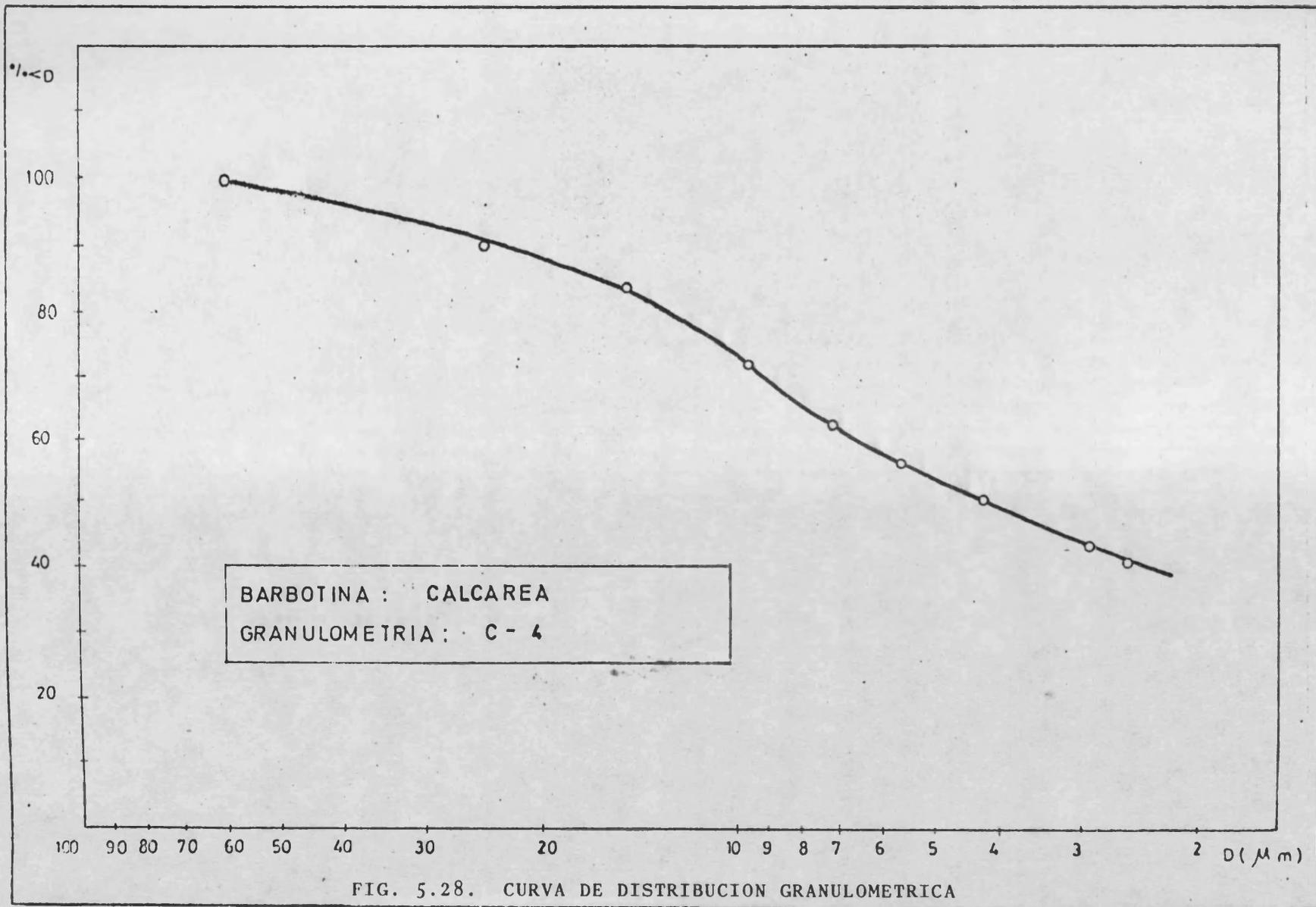


FIG. 5.28. CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

TABLA 5.148

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-5

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
94,31	23,09
88,88	14,00
81,80	9,11
73,62	6,75
66,79	5,35
59,95	4,00
52,19	2,78
45,66	2,05

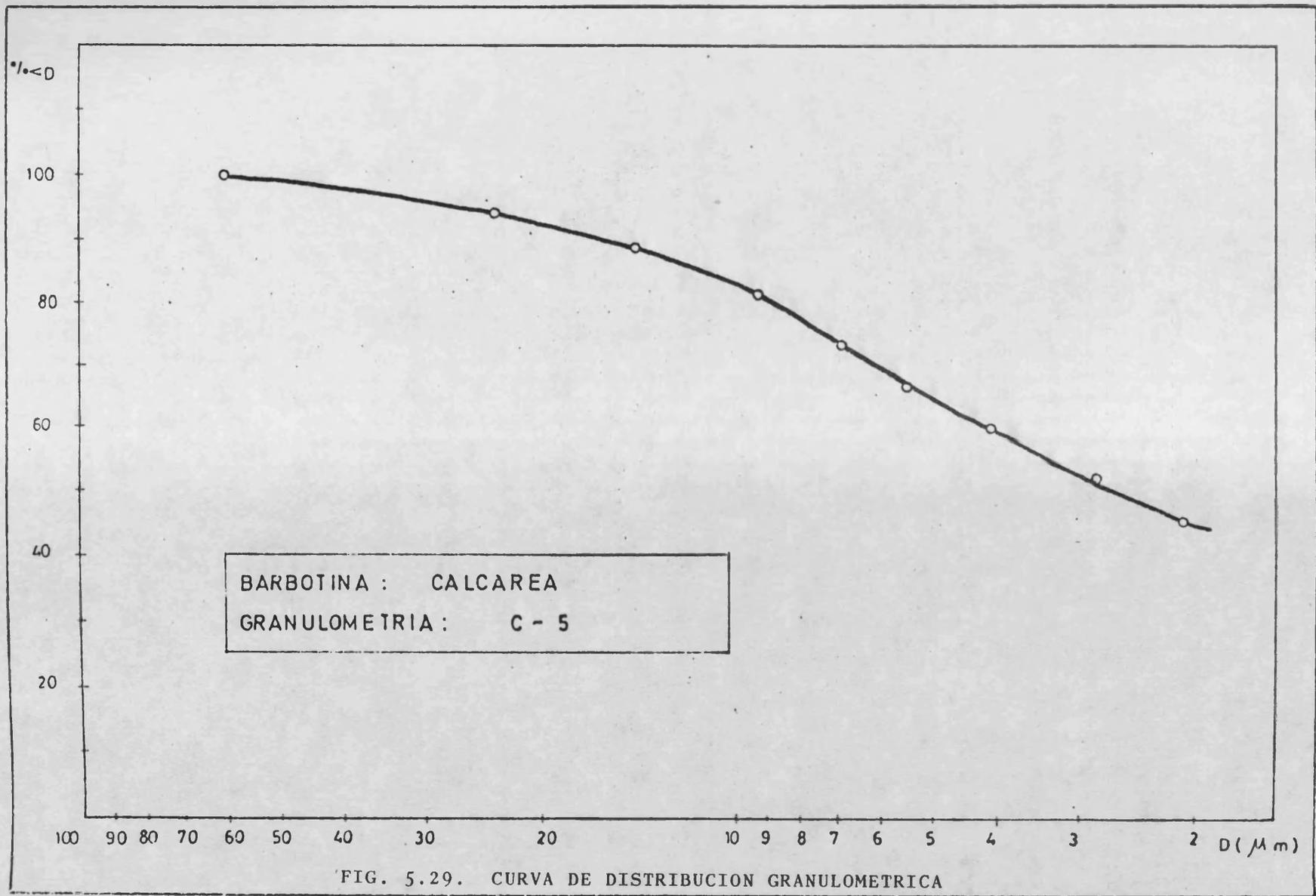


TABLA 5.149

## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-6

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
93,69	22,75
90,03	13,80
81,11	8,96
72,94	6,64
66,96	5,26
60,31	3,92
51,66	2,66
46,44	2,16

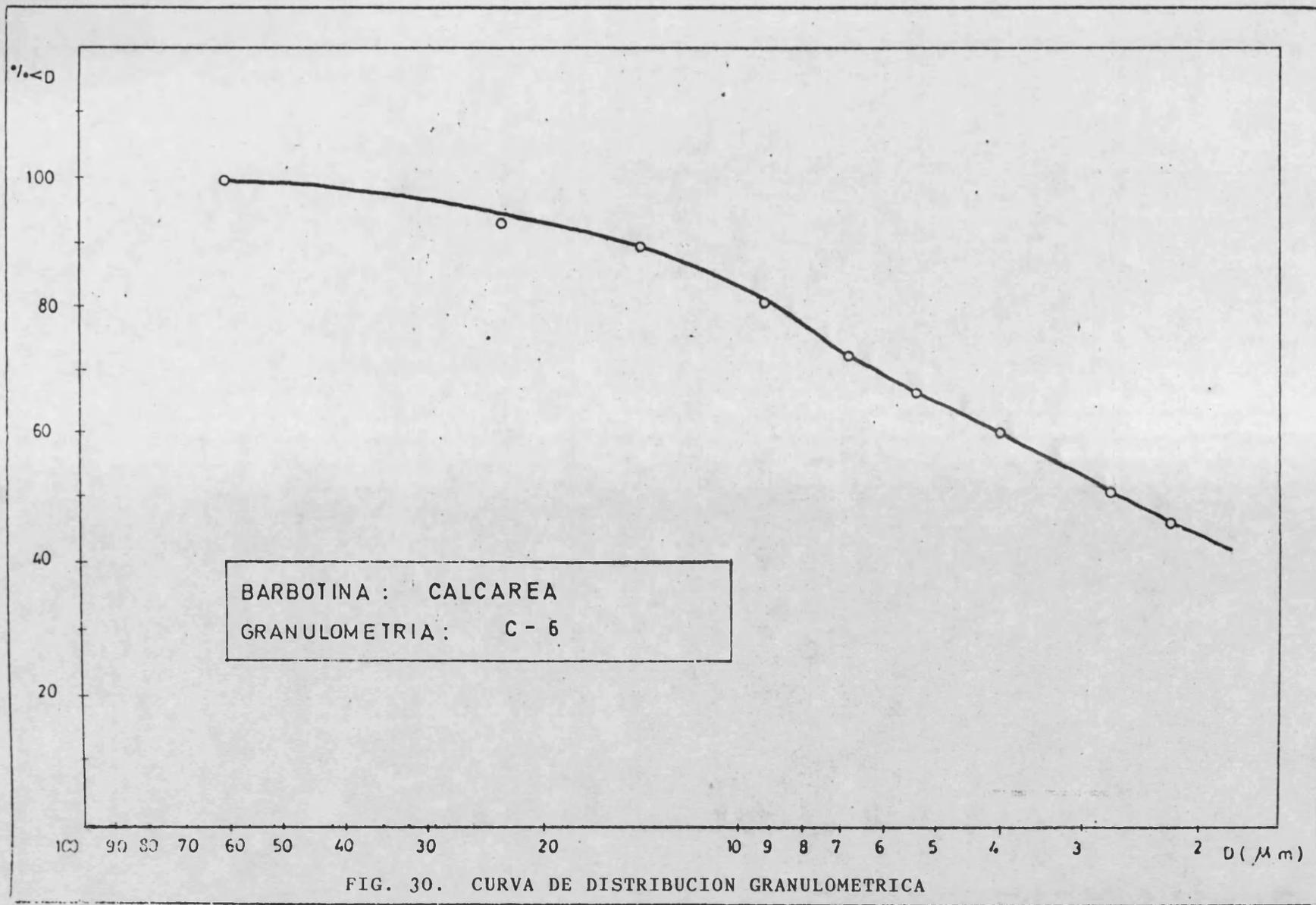


TABLA 5.150

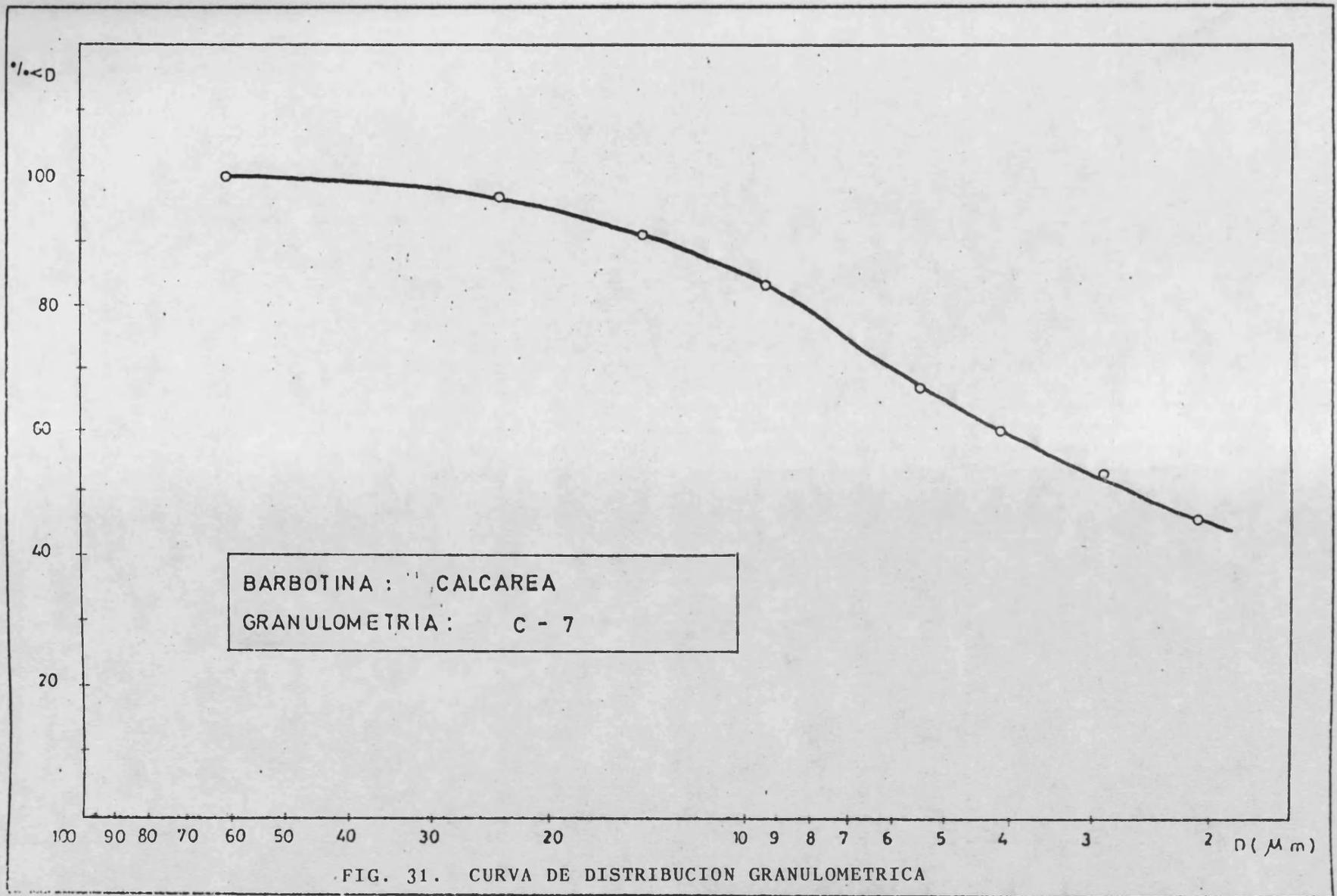
## Análisis granulométrico

Tipo de barbotina: Calcárea

Muestra: C-7

Rechazo tamiz 60  $\mu\text{m}$  = 0,00%

Partículas < D (%)	Diámetro equivalente D ( $\mu\text{m}$ )
97,37	23,09
91,25	14,00
83,38	9,11
74,37	6,73
67,02	5,28
60,08	3,99
52,72	2,79
46,06	2,04



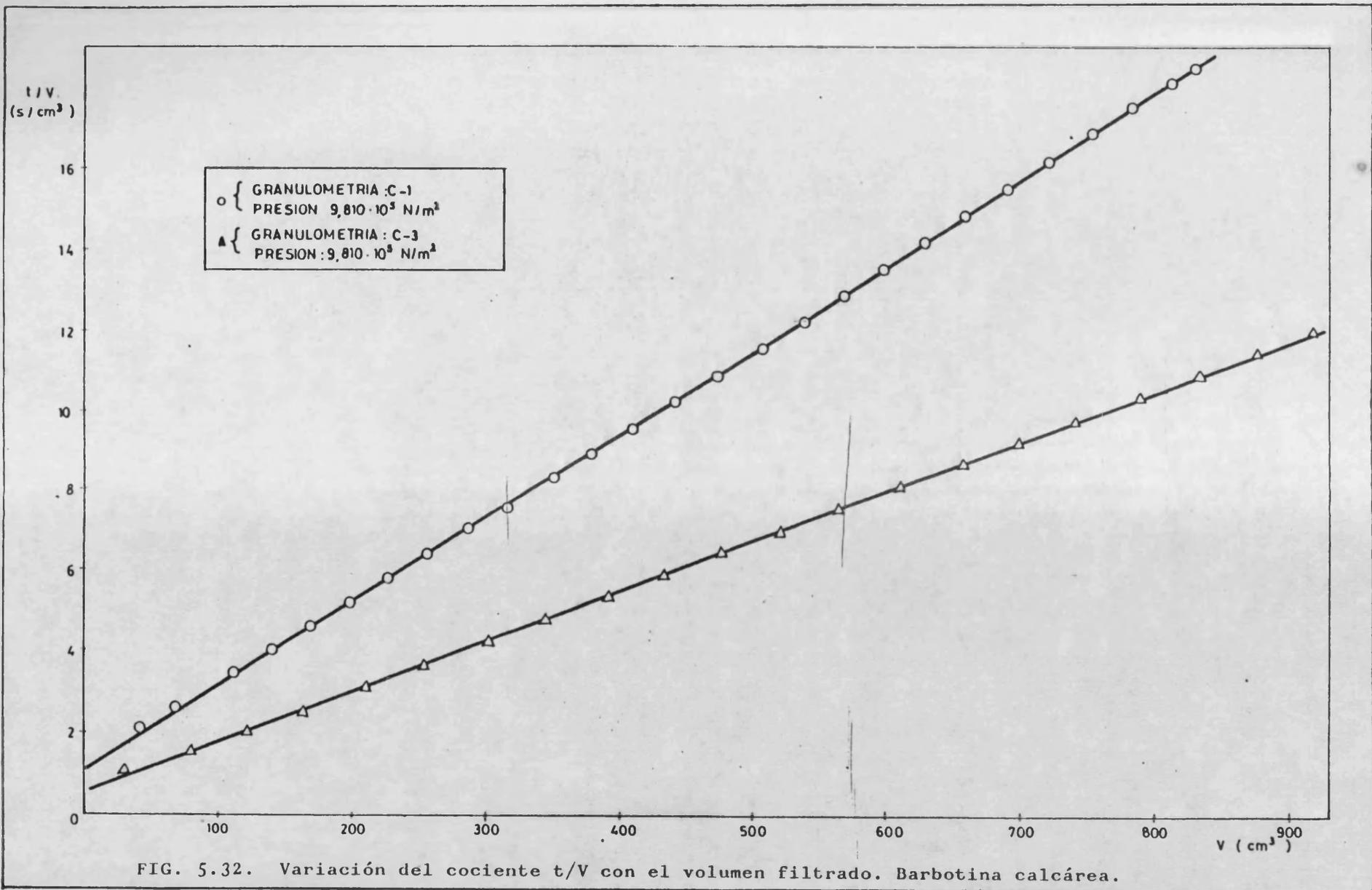


FIG. 5.32. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina calcárea.

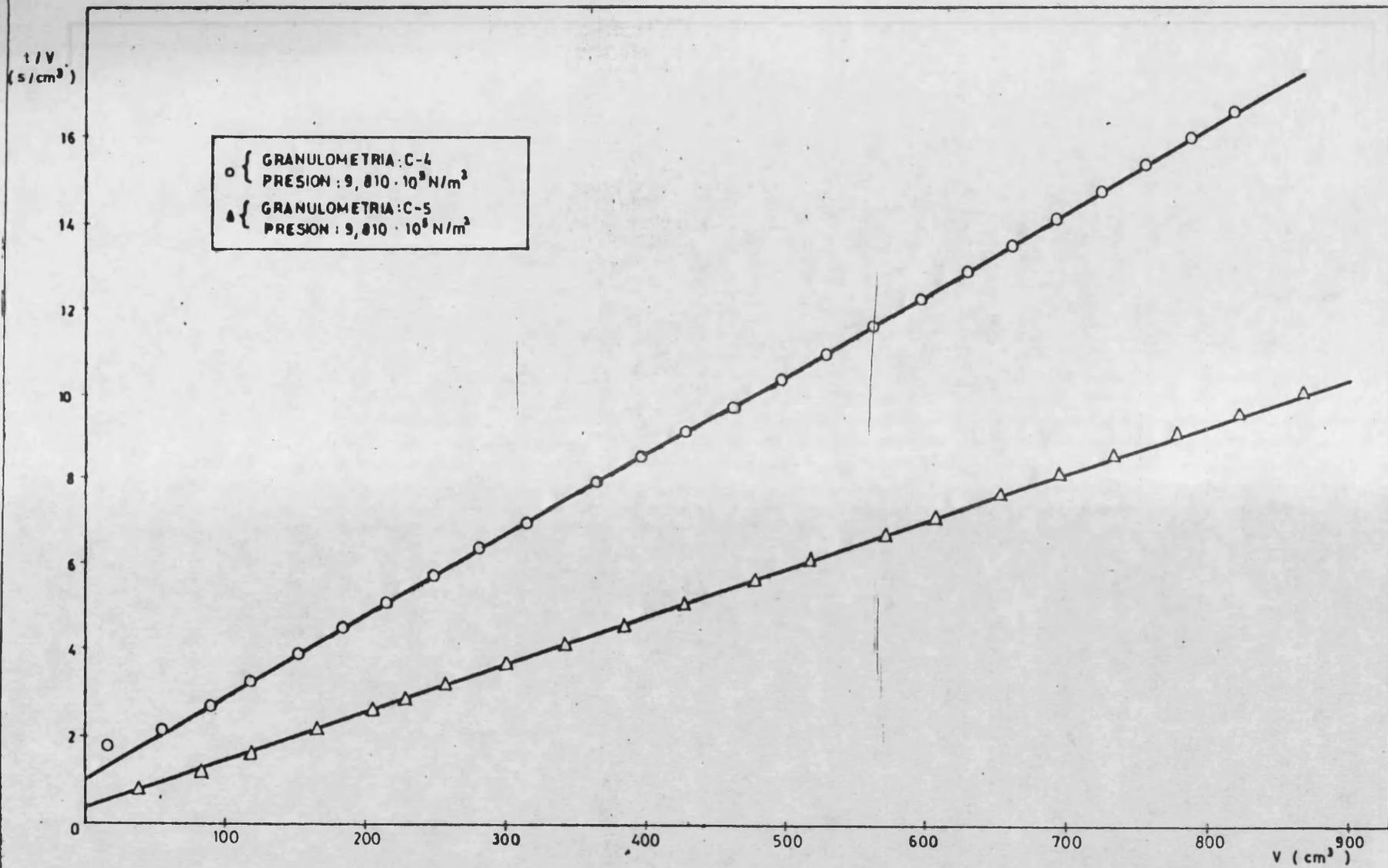


FIG. 5.33. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina calcárea.

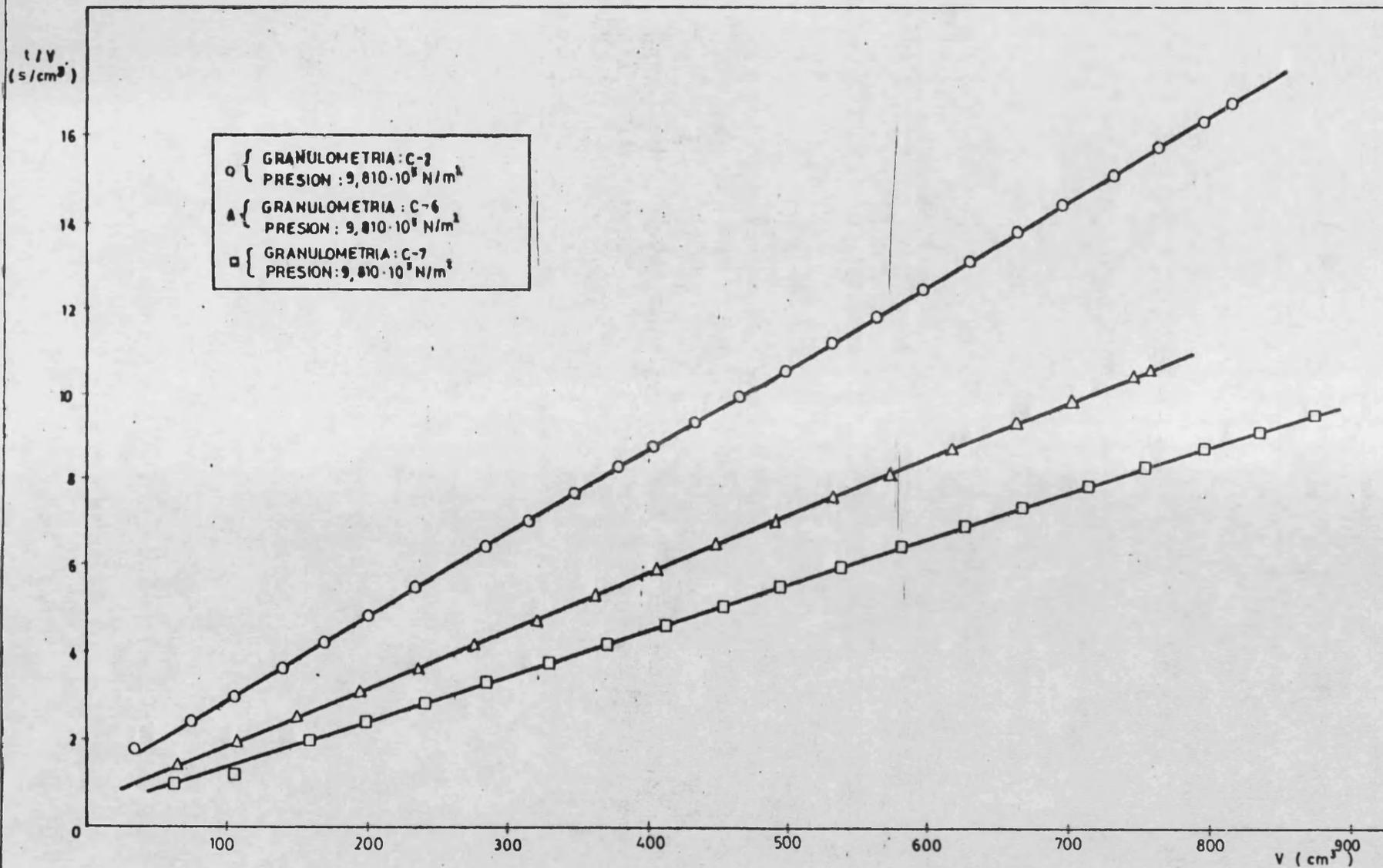


FIG. 5.34. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina calcárea.

## 6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

### 6.1. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA FILTRACION.

De cada experimento realizado se obtenía una tabla en la que se detallaba el valor del cociente  $t/V$  en función de  $V$ , volumen de filtrado recogido en el tiempo  $t$ . Dichos valores son los que se han expuesto en el Apartado 5.

Representando gráficamente estos valores y de acuerdo con la ecuación (2-24) se han obtenido líneas rectas (algunas de las cuales figuran también en el apartado anterior), de cuyas pendientes,  $a$ , se podía deducir el valor medio de la resistencia específica de la torta, una vez conocido su contenido en humedad. Para obtener el valor de la pendiente de cada recta, se ha utilizado un ajuste por mínimos cuadrados, mediante un programa para calculadora HP 67/97, descrito en el Apéndice 8.3.1.

Si se tiene en cuenta que el parámetro  $c$  que aparece en (2-23) puede relacionarse con otras propiedades del sistema más fácilmente medibles, mediante la expresión

$$c = \frac{\rho^* x}{1 - M x} \quad (6-1)$$

siendo:

- $\rho$  : densidad de filtrado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $x$  : fracción másica del alimento ( $\text{kg sólido}/\text{kg suspensión}$ )  
 $M$  : contenido en humedad de la torta ( $\text{kg torta húmeda}/\text{kg torta seca}$ )

la pendiente de (2-24) quedará en la forma:

$$a = \frac{\mu \cdot \rho \cdot x}{2 S^2 (1 - M x) \Delta P} \alpha \quad (6-2)$$

Dada la dispersión observada en los primeros puntos experimentales se prescindió de los cinco primeros valores para la realización del ajuste.

Por otra parte, a partir del valor de la ordenada en el origen, puede obtenerse el valor de la resistencia del medio, utilizando la ecuación (2-26)

La porosidad media de la torta se puede calcular a partir del valor de su contenido en humedad, mediante la ecuación (Tiller, 1960).

$$\epsilon = \frac{\left(\frac{1}{M} - 1\right) \rho_s}{\frac{1}{M} (\rho_s - 1) - \rho_s} \quad (6-3)$$

siendo  $\rho_s$  la densidad del sólido ( $\text{kg/m}^3$ ).

Estos cálculos que suponían un tratamiento sistemático de todos los datos, se realizaron mediante programas que se detallan en el Apéndice 8.3.

## 6.2. DISCUSION DE LOS EXPERIMENTOS PREVIOS.

### 6.2.1. Filtro de vacio.

Para los experimentos realizados con el filtro de vacio se han obtenido los valores de la resistencia específica de la torta, a partir de la pendiente de la recta (2-24), para las distintas presiones ensayadas, correspondientes a los experimentos recogidos en las tablas 5.2. a 5.7. Estos valores se detallan en la tabla 6.1. En ella también se indica la variación de la porosidad, calculada mediante la ecuación (6-3), con la presión.

Se hicieron varios intentos de obtener una relación lineal entre estos parámetros y los mejores resultados se obtuvieron al representar:

$$\log \alpha = f(\log \Delta P)$$

$$\log \epsilon = f(\Delta P)$$

TABLA 6.1

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

$\Delta P \cdot 10^{-4}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-11}$ (m/kg)	$\epsilon$
5,348	2,5379	0,5407
6,668	2,9619	0,5343
7,428	3,0549	0,5313
8,148	3,2912	0,5270
9,468	3,4215	0,5223

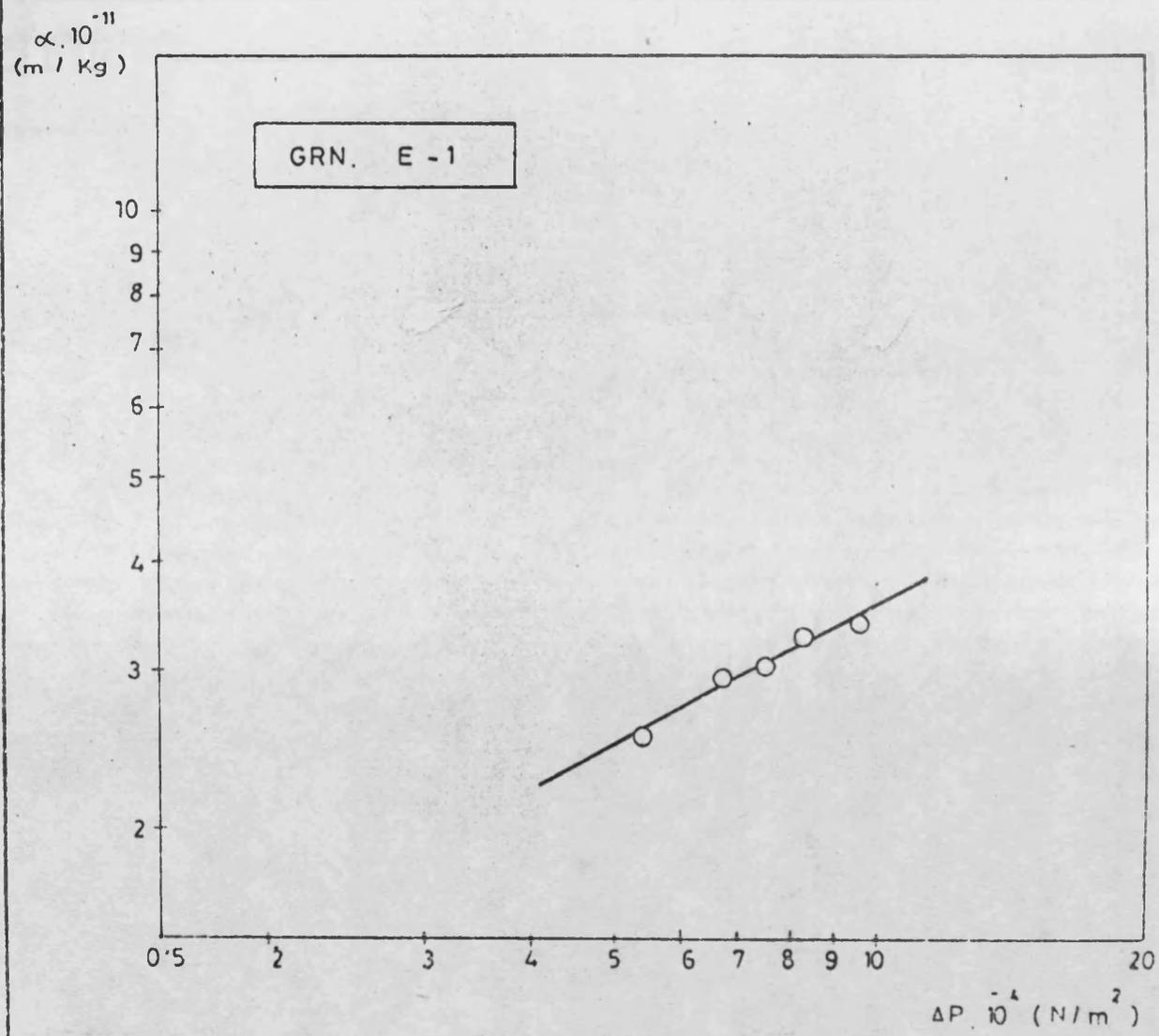


FIG. 6.1. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina feldespatica I.

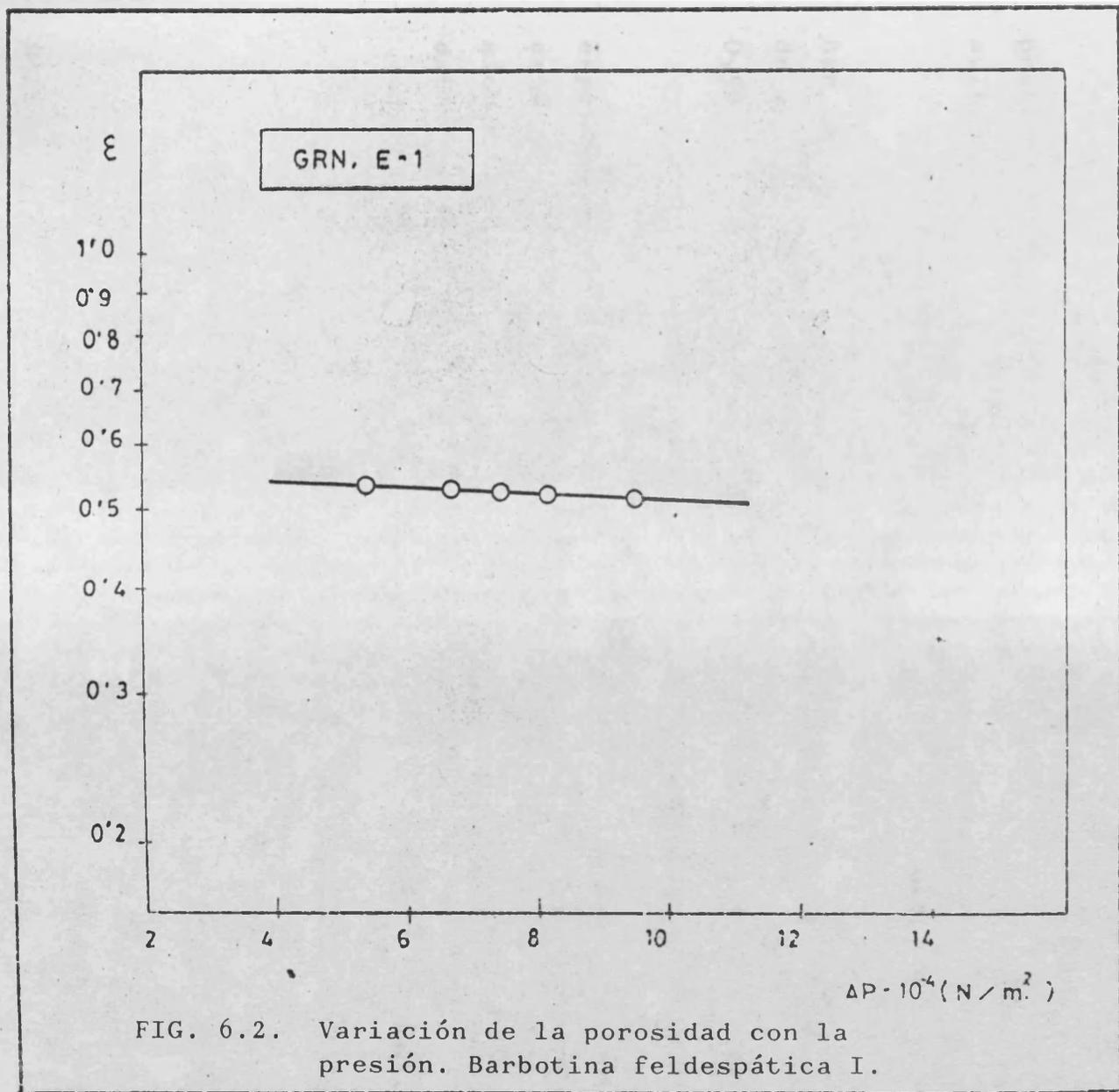


FIG. 6.2. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina feldespática I.

Estas relaciones se dan en las figuras 6.1 y 6.2 y posteriormente se hará uso de ellas para correlacionar los resultados obtenidos en el filtro a presión.

Las rectas que aparecen en las figuras 6.1 y 6.2 se han obtenido mediante un programa standard de la casa HP, siendo en ambos casos el coeficiente de correlación superior a - 0,98.

El orden de magnitud de los valores de la resistencia específica de la torta obtenidos mediante el filtro de vacío, está en concordancia con los calculados para estas mismas presiones mediante la ecuación que se deducirá en el estudio de los datos correspondientes a esta barbotina, en el filtro de presión.

#### 6.2.2. Filtro de presión.

##### 6.2.2.1. Influencia del volumen inicial de barbotina.

Los valores de la resistencia y porosidad calculados a partir de los datos experimentales recogidos en las tablas 5.7 a 5.15 que corresponden al estudio de la influencia del volumen inicial de barbotina utilizado, se detallan en las tablas 6.2. a 6.4. De ellos se puede deducir la no influencia en la filtración de este parámetro.

TABLA 6.2

## Influencia del volumen inicial de barbotina

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $5,886 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Concentración inicial de sólidos = 0,4202

$V_i$ (l)	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
1,4	4,1660	0,4282
1,7	4,1132	0,4248
2,0	4,1266	0,4259

TABLA 6.3

## Influencia del volumen inicial de barbotina

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $7,848 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3713

$V_i$ (l)	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
1,4	4,9819	0,4270
1,7	4,9012	0,4256
2,0	4,9455	0,4266

TABLA 6.4

## Influencia del volumen inicial de barbotina

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,3260

$V_i$ (l)	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
1,4	5,8533	0,4213
1,7	5,9322	0,4228
2,0	5,9333	0,4220

En los sucesivos experimentos se tomó un volumen inicial de 1,4 litros, dado que el espesor de torta obtenido para este valor, dentro del margen de concentraciones iniciales en el que se trabajó, era semejante al de una torta obtenida en un filtro prensa industrial.

#### 6.2.2.2. Influencia de la concentración inicial de sólidos.

Las tablas 6.5. a 6.7. muestran la variación de la resistencia específica y de la porosidad de la torta con la concentración inicial de sólidos. Estas tablas corresponden a los datos de los experimentos recogidos en las tablas 5.16 a 5.24.

Se puede observar una variación de la resistencia y de la porosidad totalmente aleatoria y dentro del error experimental, pudiéndose considerar despreciable la influencia de la variación de la concentración inicial de sólidos sobre estas dos variables, dentro del intervalo de concentraciones utilizado en este trabajo, que es algo mayor que el corrientemente utilizado en la industria.

#### 6.2.2.3. Influencia de la presión de filtrado.

Los valores de la resistencia específica y de la porosidad correspondientes a la serie en la que se estudió esta influencia (tablas 5.7, 5.10, 5.13 y 5.25 a 5.28), se encuentran

TABLA 6.5

## Influencia de la concentración inicial de sólidos

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

Presión:  $4,905 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

x	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
0,3728	3,8627	0,4356
0,4263	3,8972	0,4336
0,4410	3,8773	0,4332

TABLA 6.6

## Influencia de la concentración inicial de sólidos

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l

x	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
0,2627	5,0115	0,4591
0,3614	4,9374	0,4591
0,4244	4,9853	0,4570

TABLA 6.7.

## Influencia de la concentración inicial de sólidos

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

Presión:  $9,810 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ 

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

x	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
0,2372	14,7970	0,4205
0,3398	15,1368	0,4216
0,4127	14,8129	0,4215

recogidos en la tabla 6.8, donde se puede observar la variación de estos dos parámetros con la presión. Un ajuste por mínimos cuadrados de estos valores experimentales, utilizando el mismo criterio de linealización que el que se indicó en el caso del filtro de vacío condujo de nuevo a resultados aceptables, como puede observarse en las figuras 6.3 y 6.4.

Las ecuaciones obtenidas mediante un ajuste por mínimos cuadrados para ambas rectas fueron:

$$\alpha = 2,1151 \cdot 10^9 \cdot \Delta P^{0,5729} \quad (6-4)$$

$$\epsilon = 0,4537 \exp(-8,1305 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta P) \quad (6-5)$$

Los coeficientes de correlación obtenidos para ambos ajustes fue de 0,96 y 0,99 respectivamente. Esto lleva a admitir la validez práctica de estas ecuaciones, la primera de las cuales ya había sido propuesta por Purchas en 1957.

En la misma tabla 6.8 aparecen representados los valores de las resistencias totales de la torta y del medio. A la vista de ellos puede considerarse la resistencia del medio despreciable frente a la de la torta, simplificación frecuentemente encontrada en la bibliografía sobre filtración de pastas cerámicas. Tiller (1960), Brociner (1963) y Dahlstrom (1978).

TABLA 6.8

Variación de la resistencia específica y porosidad de la torta con la presión. Comparación entre los valores de la resistencia total de la torta y del medio.

Tipo de barbotina: Feldespática I

Granulometría: E-1

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$R_t \cdot 10^{-12}$ (m <sup>-1</sup> )	$R_m \cdot 10^{-12}$ (m <sup>-1</sup> )	$\epsilon$
3,924	3,5134	195,2901	8,6455	0,4407
5,886	4,1660	247,0213	10,5054	0,4282
6,867	4,4860	279,5264	13,7897	0,4291
7,848	4,9819	239,9333	8,1540	0,4270
8,829	5,4008	242,2644	8,4215	0,4241
9,810	5,8533	237,1997	7,3969	0,4213
11,772	6,4743	384,6317	6,7276	0,4098

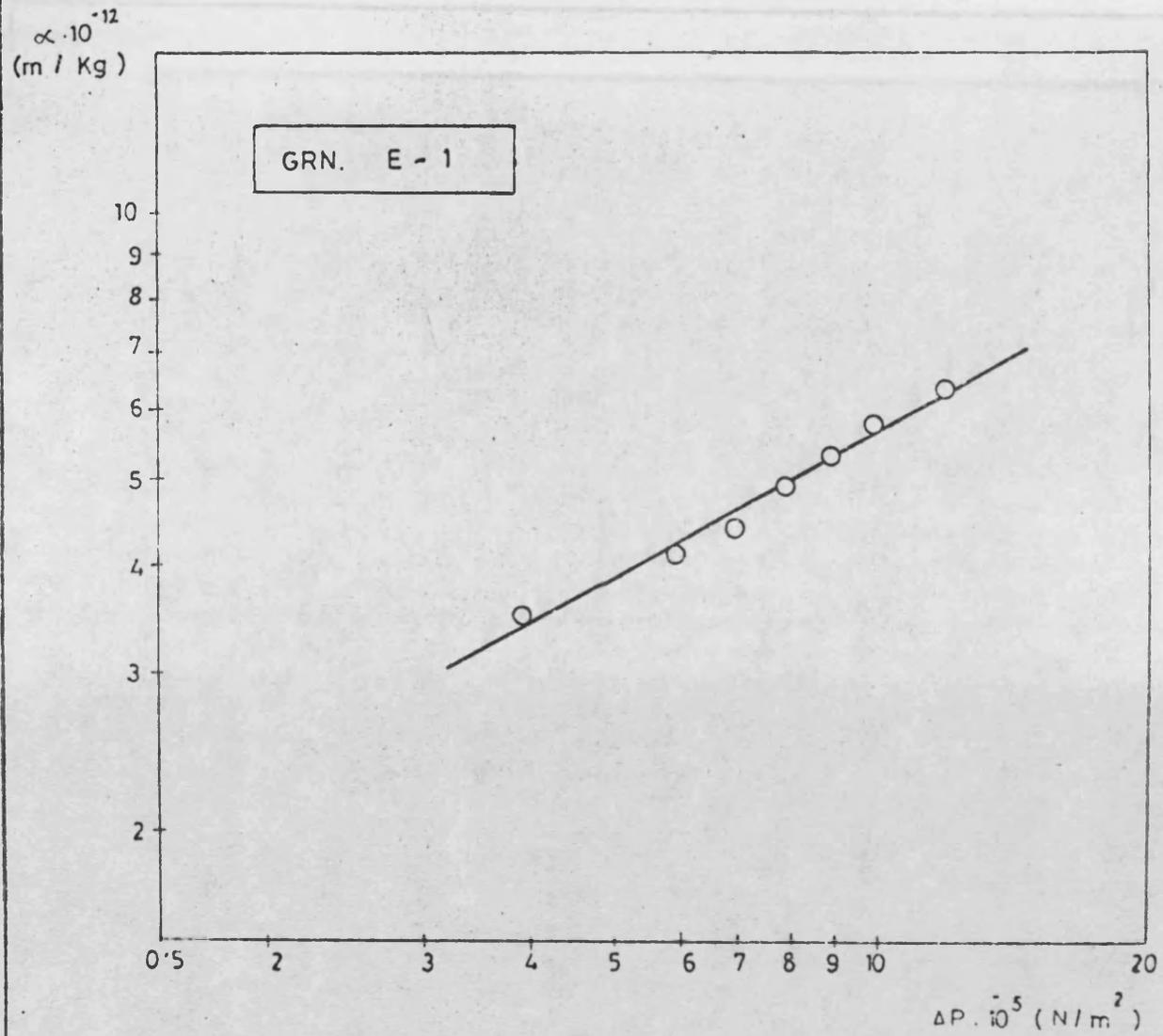


Fig. 6.3. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina feldespatica I.

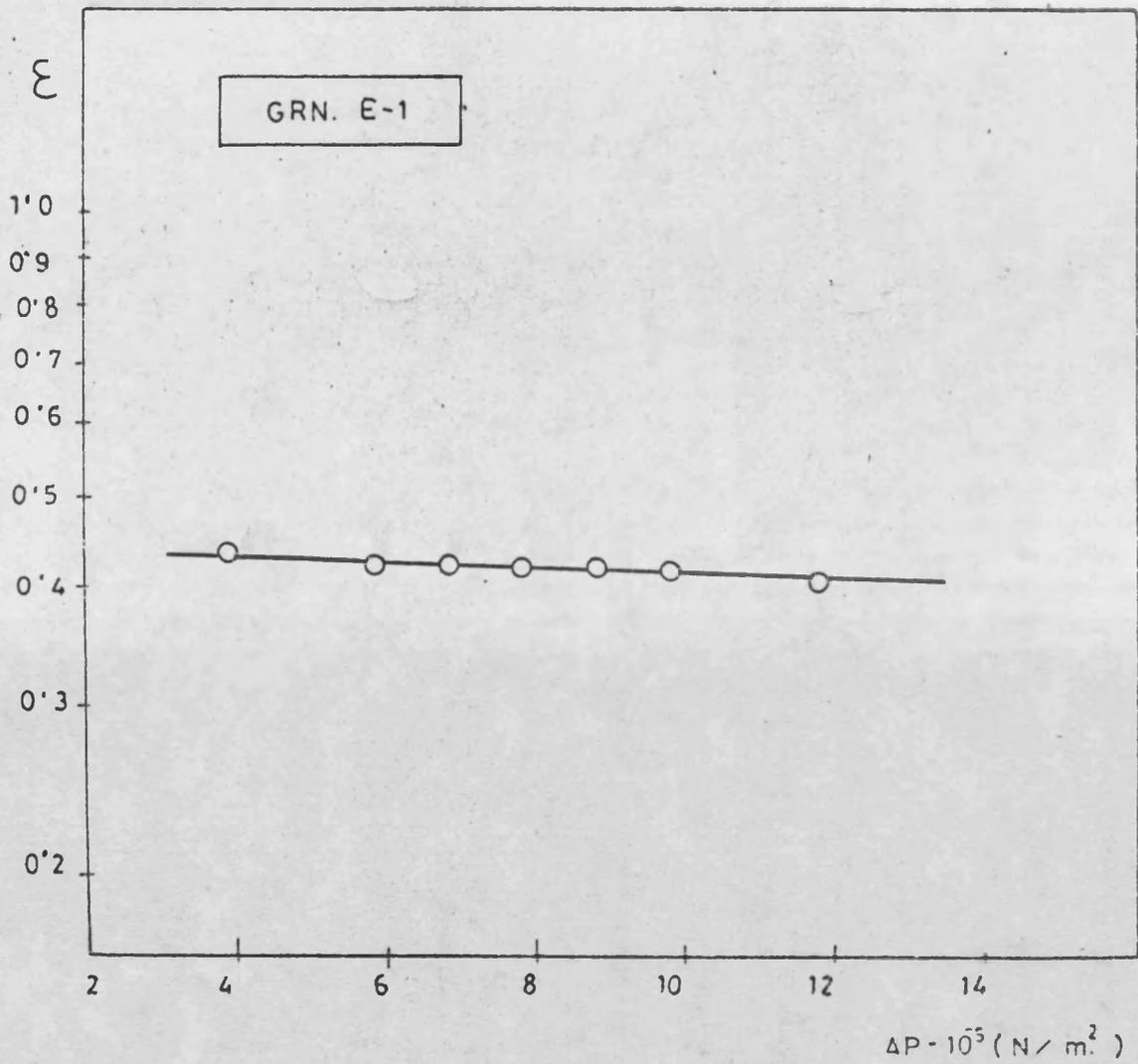


FIG. 6.4. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina feldespática I.

#### 6.2.2.4. Influencia de la granulometría.

La influencia de la granulometría, estudiada mediante los experimentos que se detallaron en las tablas 5.13, 5.29 y 5.30, queda reflejada en los valores de la resistencia y porosidad de la tabla 6.9. En ella puede observarse una disminución en el valor de la resistencia específica de la torta al aumentar el tiempo de molienda, así como un aumento en la porosidad, es decir, en la humedad final de la torta.

#### 6.2.3. Conclusiones.

Como resultado de todos estos experimentos previos puede deducirse:

- a) que la resistencia del medio filtrante es despreciable frente a la de la torta,
- b) que tanto la resistencia específica como la porosidad de la torta no dependen del volumen de barbotina introducido en el filtro ni de su concentración inicial en sólidos, al menos en los intervalos de valores cubiertos por este trabajo.
- c) que, por el contrario, la presión de trabajo y la granulometría del sólido empleado tienen una marcada influencia sobre la resistencia específica y la porosidad.

Por consiguiente, el estudio sistemático de tres diferentes barbotinas, que se aborda a continuación, se ha centrado ya en la obtención de ecuaciones generales que reflejen estas influencias.

TABLA 6.9

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
granulometría

Barbotina: Feldespática I

Presión:  $9,810 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>

Concentración inicial de sólidos: 0,4004

Tiempo de molienda (h)	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
0	5,8533	0,4213
6	4,3973	0,4449
20	3,6745	0,4808

### 6.3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS DIFERENTES BARBOTINAS.

La discusión que a continuación se realiza, se ha dividido inicialmente en dos apartados, influencia de la presión e influencia de la granulometría, para tratar, finalmente, de unir ambos efectos.

#### 6.3.1. Influencia de la presión.

##### 6.3.1.1. Efecto sobre la resistencia específica de la torta.

La dependencia presentada por la resistencia específica con respecto a la presión, tal como se comprobó en los experimentos previos, fue del tipo potencial:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \Delta P^n \quad (2-11)$$

ampliamente aceptada en la bibliografía (Svarosky, 1977). En ella  $n$  es el coeficiente de compresibilidad de la torta y el valor medio de la resistencia específica en toda la torta.

#### i) Barbotina feldespática II.

En las tablas 6.10 a 6.16 aparecen recogidos los valores de la resistencia específica frente a la presión para las

TABLA 6.10

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
2,943	6,2754	0,4164
4,905	7,7498	0,4084
6,867	9,1505	0,4009
8,829	10,2276	0,3849
10,791	11,0508	0,3827

TABLA 6.11

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	6,2124	0,4218
6,867	7,3092	0,4084
7,848	7,5616	0,4080
9,810	7,9561	0,4009
12,753	9,7043	0,3929

TABLA 6.12

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
4,905	5,8183	0,4353
6,867	6,7496	0,4265
7,848	7,2283	0,4248
9,810	7,7581	0,4209
12,753	8,9023	0,4152

TABLA 6.13

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-4

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	5,8592	0,4487
7,848	6,7877	0,4404
9,810	7,9883	0,4252
12,753	8,8138	0,4221

TABLA 6.14

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-5

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	4,7009	0,4709
7,848	5,7015	0,4625
9,810	6,4727	0,4517
12,753	7,0437	0,4451

TABLA 6.15

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-6

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	4,5829	0,4806
7,848	5,2480	0,4712
9,810	6,1106	0,4698
12,753	6,9523	0,4686

TABLA 6.16

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-7

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	4,5551	0,5014
7,848	5,2277	0,4908
9,810	5,9938	0,4838
12,753	6,9704	0,4747

distintas granulometrías estudiadas. Estos valores corresponden a los experimentos recogidos en las tablas 5.34 a 5.64.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (2-11) dió como resultado la serie de ecuaciones siguientes.

TABLA 6.17.

Variación de  $\alpha_0$  con la presión

Granulometría	$\alpha_0 \cdot 10^{-10}$	n	coef. correl.
F-1	2,3872	0,4422	0,999
F-2	2,0283	0,4366	0,964
F-3	1,8956	0,4371	0,998
F-4	1,8456	0,4384	0,986
F-5	1,6208	0,4327	0,997
F-6	1,4087	0,4397	0,983
F-7	1,3464	0,4426	0,982

La representación gráfica de estas ecuaciones incluyendo los puntos experimentales puede verse en las figuras 6.5 a 6.7.

ii) Barbotina porcelana.

En las tablas 6.18 a 6.24 aparecen recogidos los valores

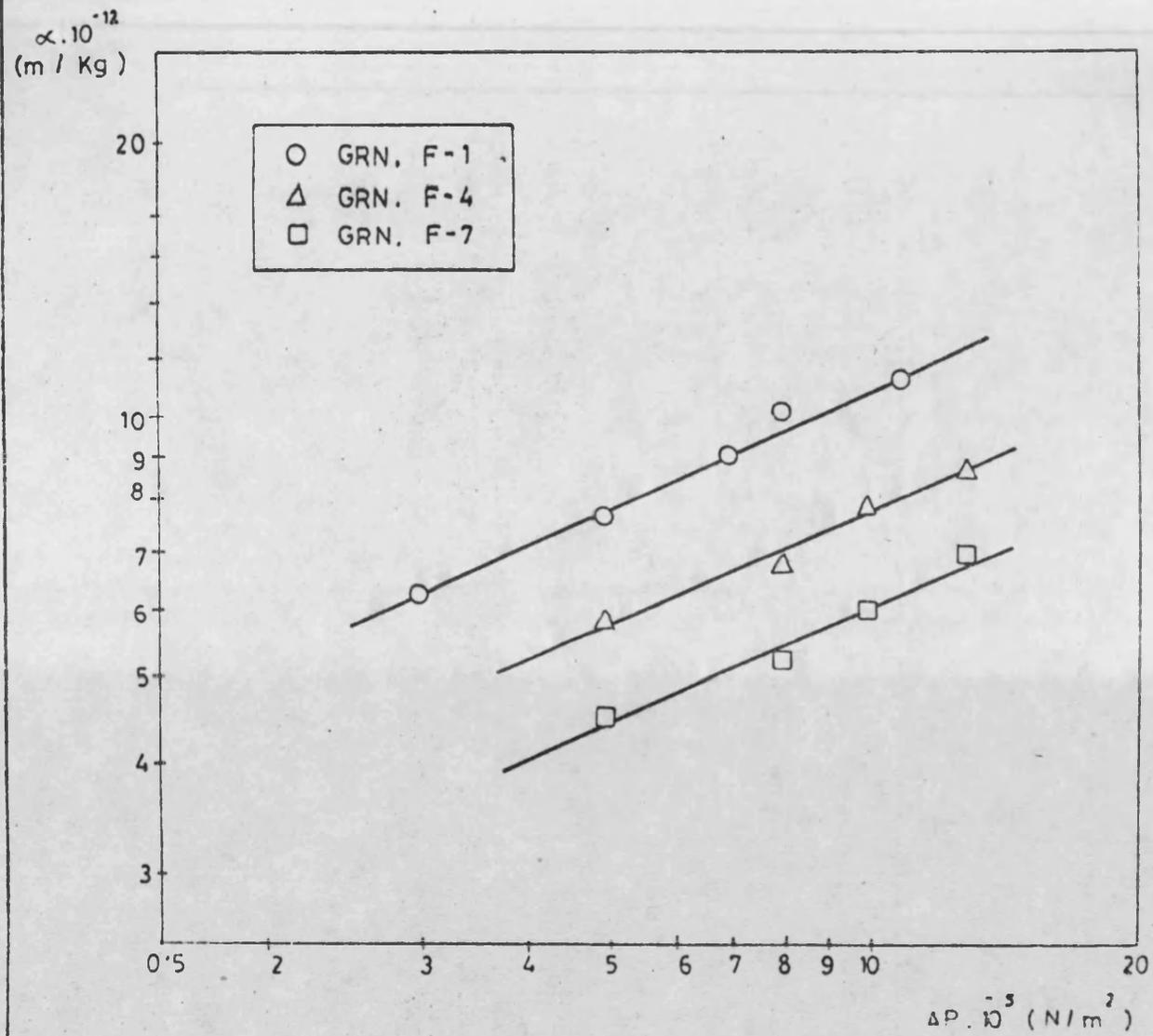


FIG. 6.5. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina feldespática II.

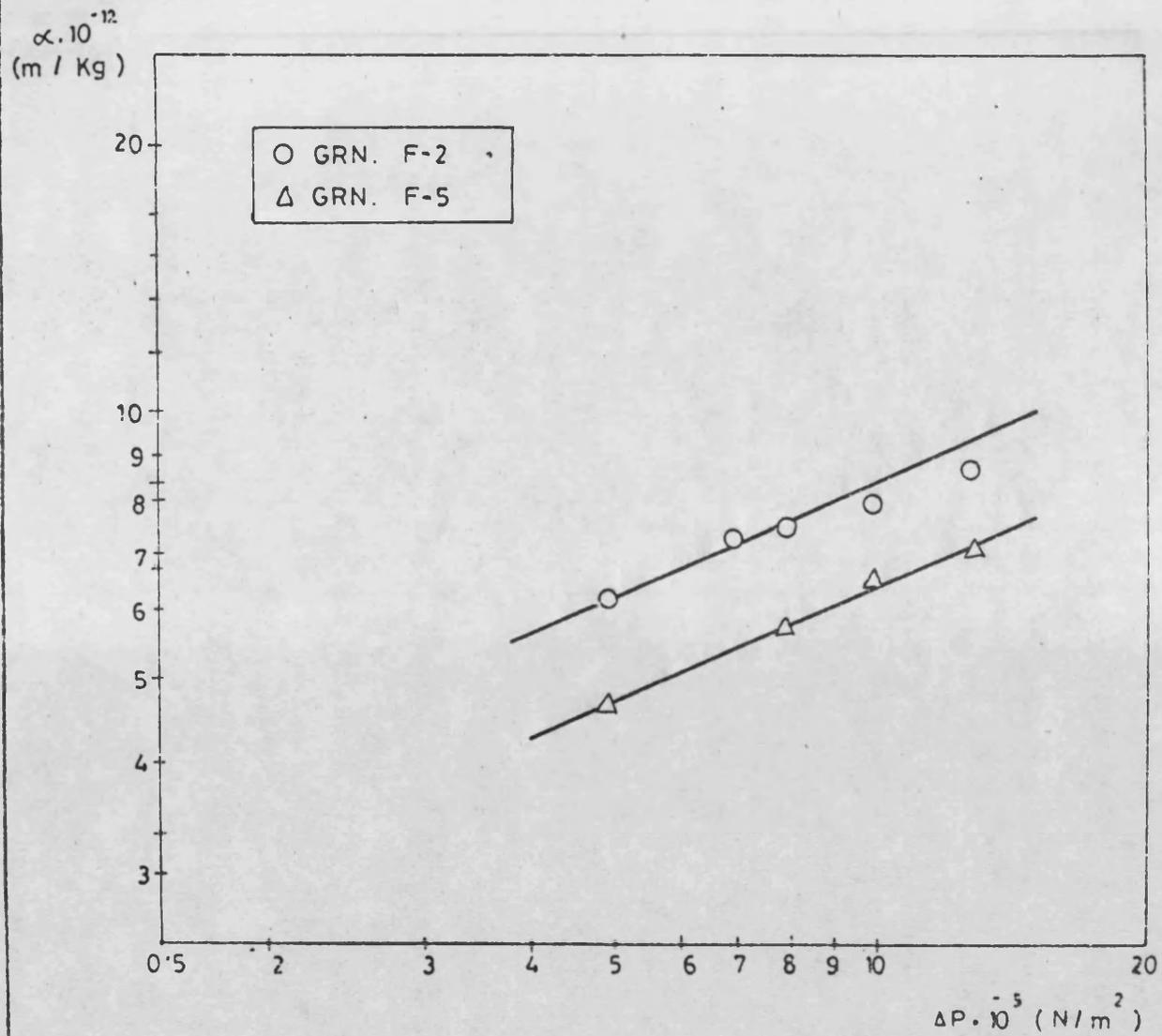


FIG. 6.6. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina feldespática II.

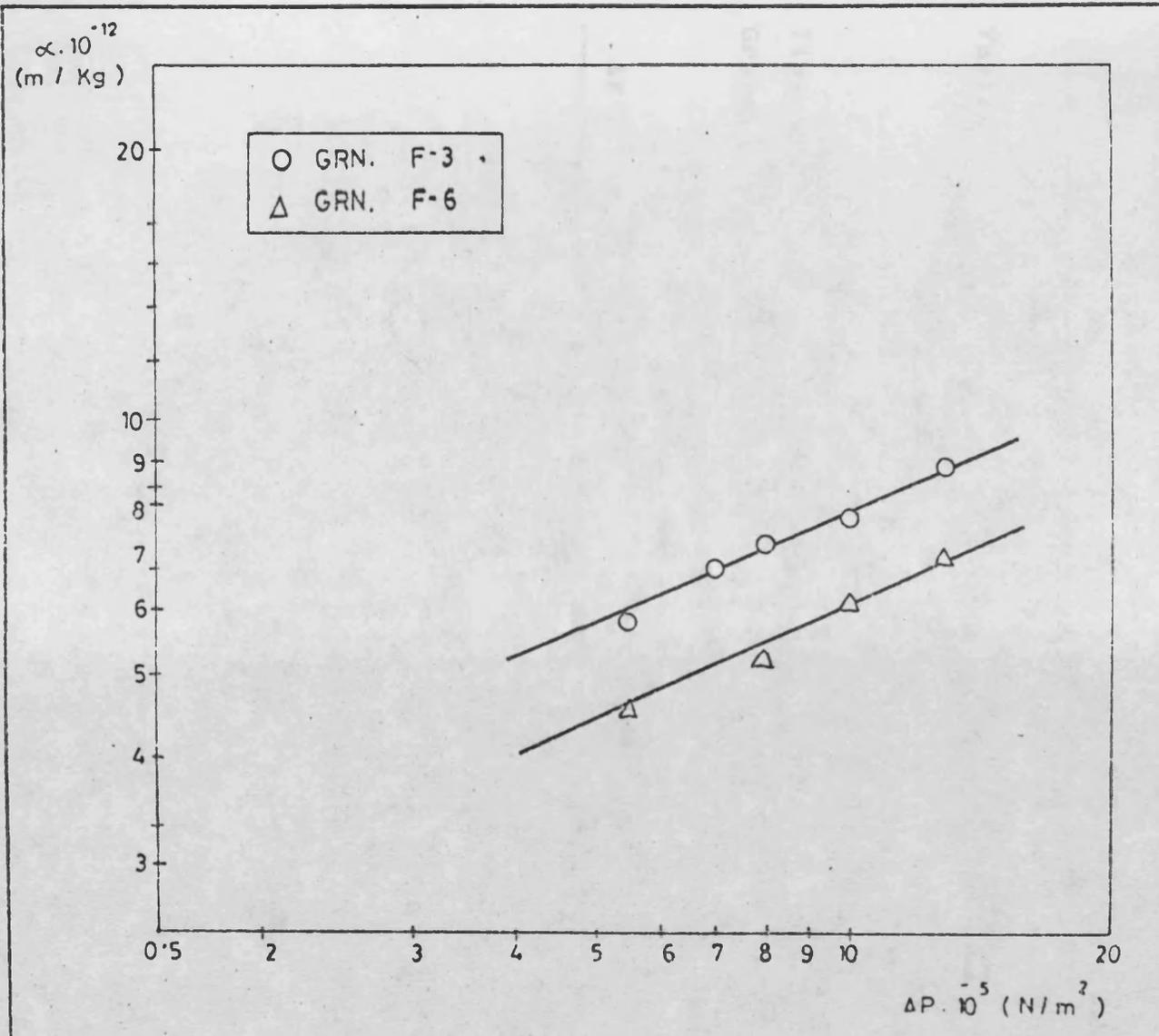


FIG. 6.7. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina feldespática II.

TABLA 6.18

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
4,905	3,9379	0,4695
6,867	4,4813	0,4620
8,829	5,0563	0,4611
10,791	5,5280	0,4519
12,753	6,0135	0,4505

TABLA 6.19

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
2,943	3,1635	0,4768
4,905	4,0716	0,4666
6,867	4,6855	0,4598
8,829	5,3236	0,4570
11,772	5,8526	0,4502
12,753	6,1245	0,4497

TABLA 6.20

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
5,886	4,0651	0,4678
7,848	4,5137	0,4621
9,810	4,9374	0,4591
11,772	5,3703	0,4509
12,753	5,8152	0,4508

TABLA 6.21

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
granulometría

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
5,886	3,7029	0,4786
7,848	4,2787	0,4748
9,810	4,6934	0,4691
11,772	4,9849	0,4685
12,753	5,2822	0,4681

TABLA 6.22

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	3,6644	0,4912
6,867	3,7461	0,4890
8,829	4,4551	0,4754
10,791	4,9867	0,4726
12,753	5,4558	0,4709

TABLA 6.23

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-6

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/seg)	$\epsilon$
4,905	3,3629	0,4950
6,867	3,8455	0,4910
9,810	4,5612	0,4754
12,753	5,1666	0,4726

TABLA 6.24

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/seg)}$	$\epsilon$
5,886	3,1035	0,5204
7,848	3,4929	0,5056
9,810	3,9633	0,5013
11,772	4,2460	0,4947
12,753	4,3687	0,4922

de la resistencia específica frente a la presión para las distintas granulometrías estudiadas, correspondientes a los experimentos detallados en las tablas 5.72 a 5.106.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (2-11) dió como resultado la serie de ecuaciones siguientes:

TABLA 6.25.

Granulometría	$\alpha_o \cdot 10^{-10}$	n	coef. correl.
P-1	1,1744	0,4454	0,998
P-2	1,1550	0,4444	0,999
P-3	1,1141	0,4430	0,989
P-4	1,0530	0,4418	0,997
P-5	1,0394	0,4436	0,961
P-6	0,8928	0,4521	0,999
P-7	0,7550	0,4529	0,998

La representación gráfica de estas ecuaciones incluyendo los puntos experimentales puede verse en las figuras 6.8 a 6.10.

iii) Barbotina calcárea.

En las tablas 6.26 a 6.32 aparecen recogidos los valores de la resistencia específica frente a la presión para las distin

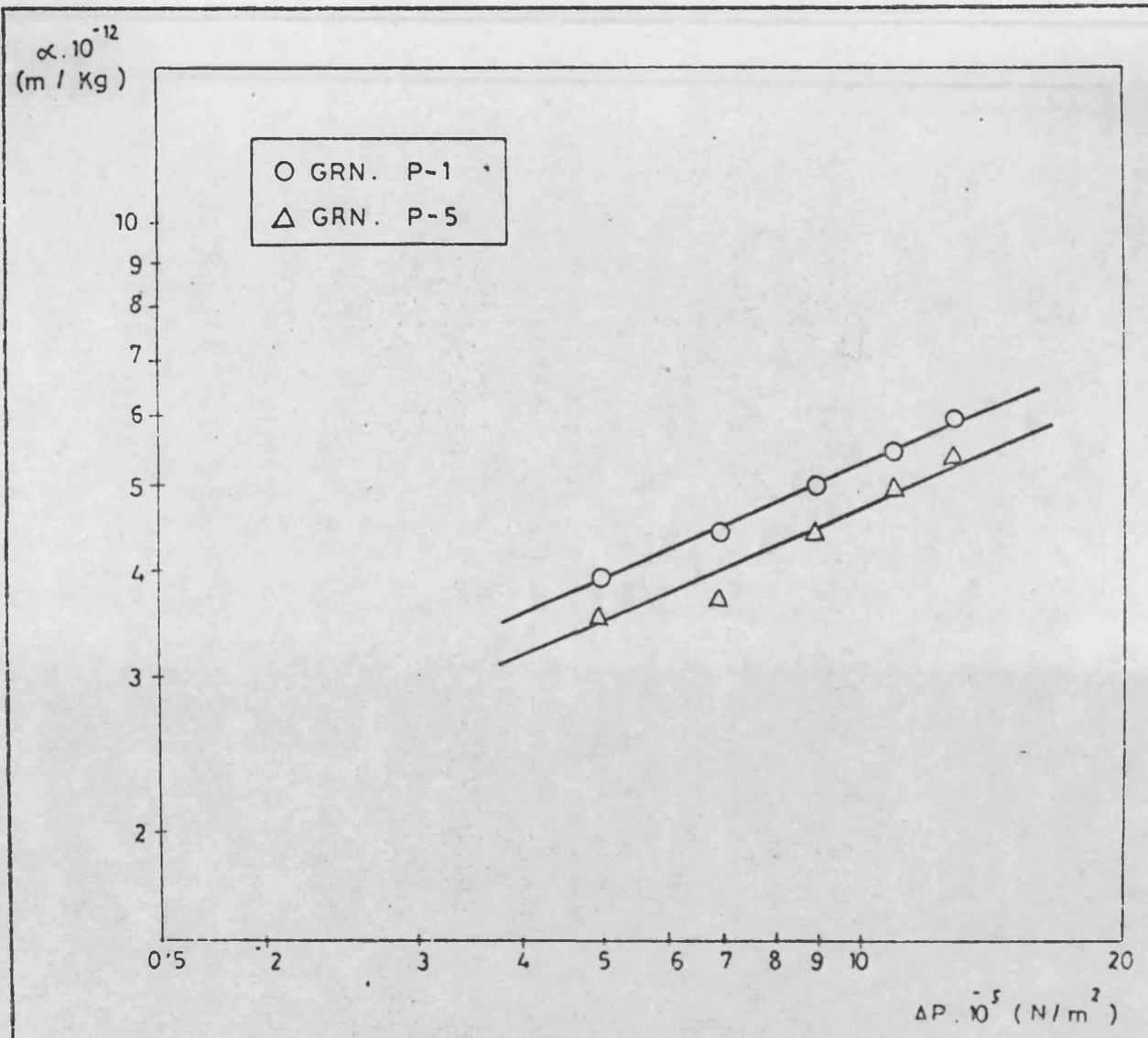


FIG. 6.8. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina porcelana.

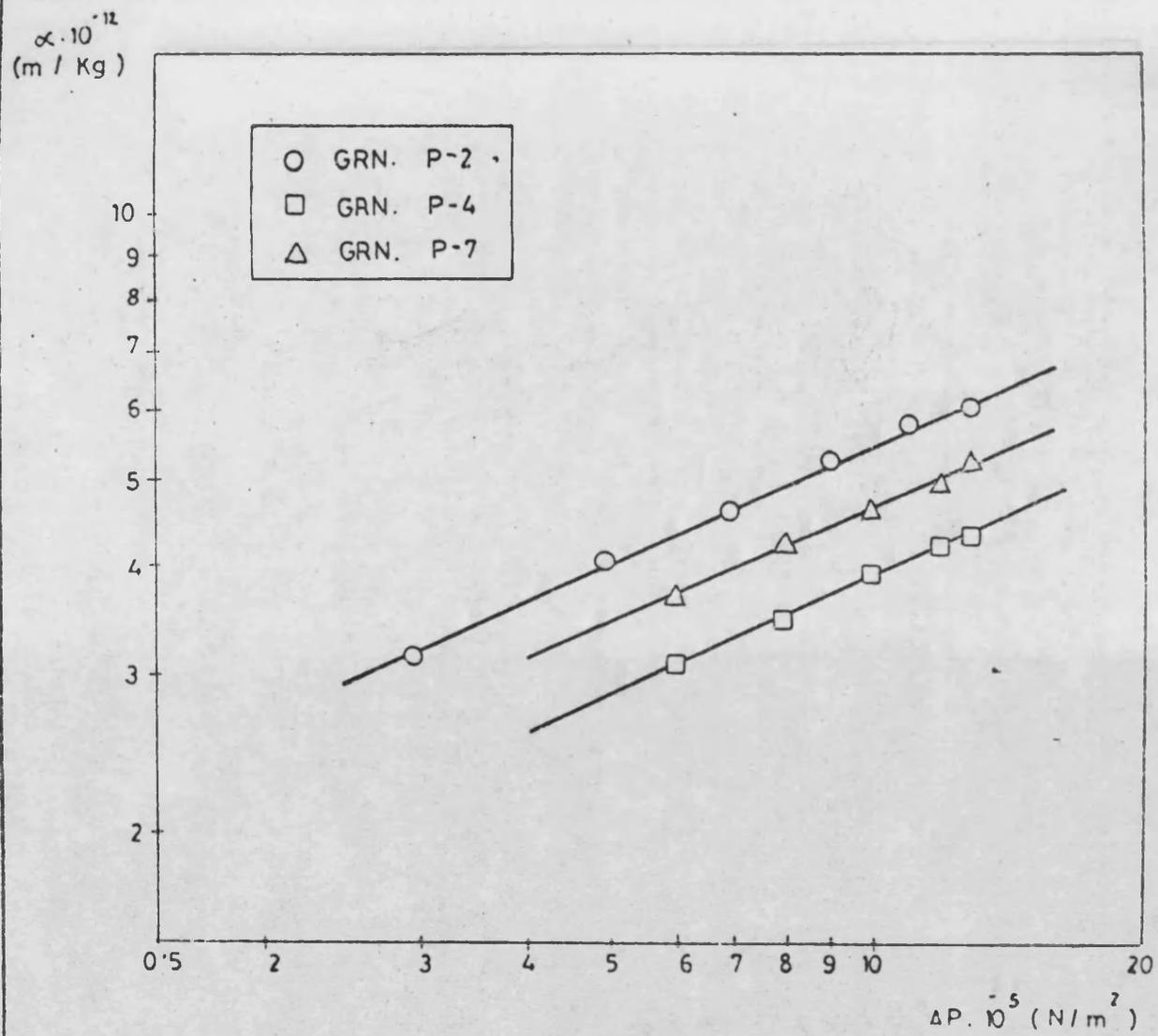


FIG. 6.9. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina porcelana.

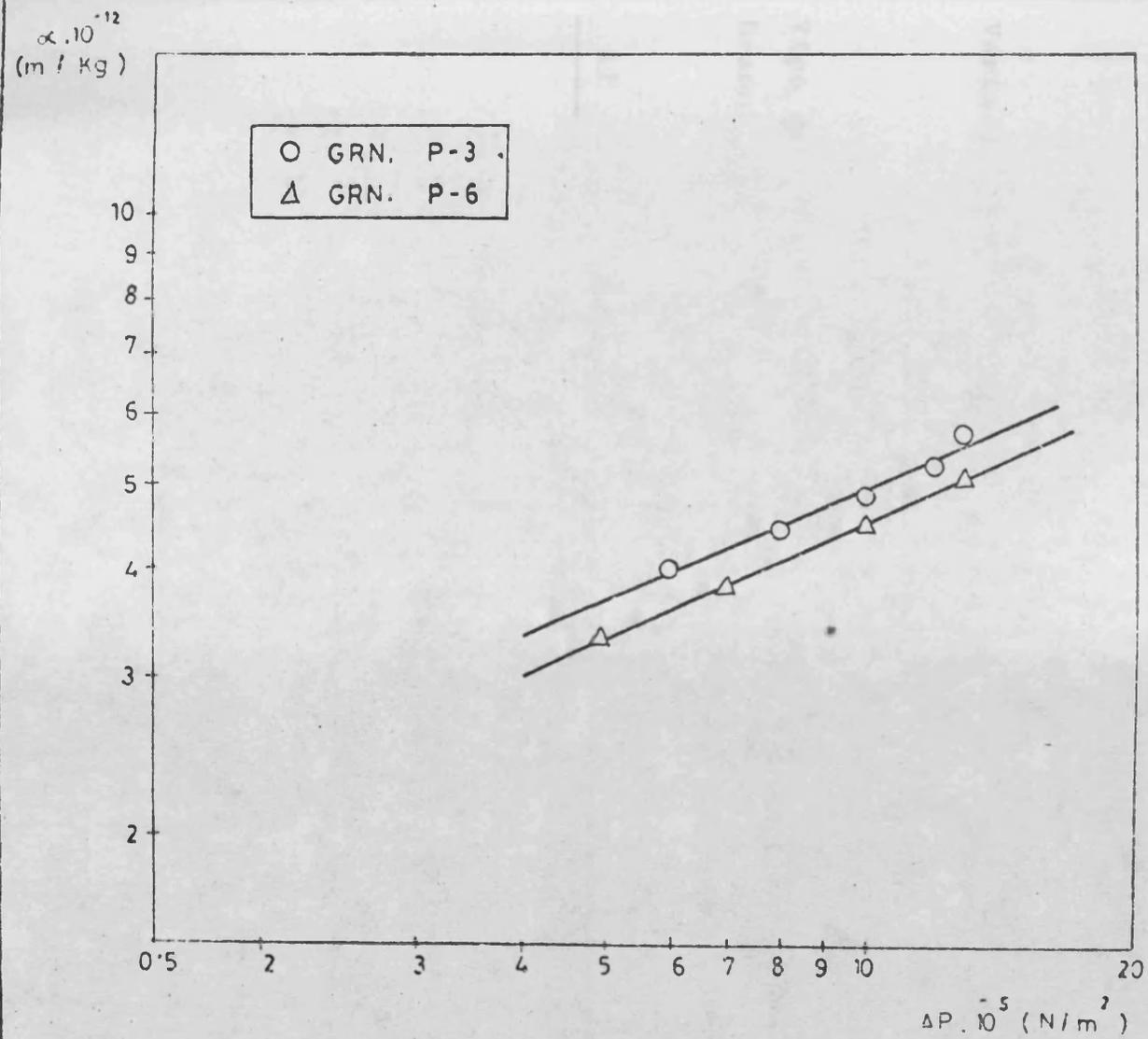


FIG. 6.10. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina porcelana.

TABLA 6.26

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
5,886	11,5131	0,4335
7,848	14,1773	0,4241
9,810	14,8129	0,4215
11,772	16,4603	0,4168
12,753	18,1514	0,4154

TABLA 6.27

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
4,905	9,7338	0,4410
7,848	12,4534	0,4261
9,810	13,9879	0,4239
11,772	15,5792	0,4204

TABLA 6.28

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
5,886	10,7144	0,4424
7,848	12,2267	0,4374
9,810	13,6512	0,4215
12,753	16,2591	0,4163

TABLA 6.29

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
5,886	9,5342	0,4441
7,848	11,1584	0,4288
9,810	12,9922	0,4270
11,772	13,2625	0,4253
12,753	14,9435	0,4217

TABLA 6.30

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	7,6882	0,4731
5,886	9,1657	0,4668
7,848	10,3741	0,4651
9,810	10,9614	0,4617
12,753	13,6504	0,4578

TABLA 6.31

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$
5,886	8,2353	0,4968
7,848	9,6751	0,4826
9,810	10,8057	0,4698
12,753	12,5858	0,4644



TABLA 6.32

Variación de la resistencia y porosidad de la torta con la  
presión

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\alpha \cdot 10^{-12} \text{ (m/kg)}$	$\epsilon$
4,905	6,9013	0,5034
7,848	8,3851	0,4759
9,810	9,7815	0,4738
11,772	11,1439	0,4576

tas granulometrías estudiadas, cuyos resultados experimentales se dieron en las tablas 5.113 a 5.143.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (2-11) dió como resultado en este caso la serie de ecuaciones siguientes.

TABLA 6.33.

Variación de            con la presión

Granulometría	$\sigma \cdot 10^{-9}$	n	coef. correl.
C-1	9,8981	0,5333	0,9847
C-2	8,9287	0,5336	0,9997
C-3	8,6878	0,5348	0,9955
C-4	7,0390	0,5430	0,9833
C-5	6,2392	0,5454	0,9817
C-6	5,9559	0,5444	0,9996
C-7	5,7194	0,5400	0,9895

La representación gráfica de estas ecuaciones incluyendo los puntos experimentales puede verse en las figuras 6.11 a 6.13.

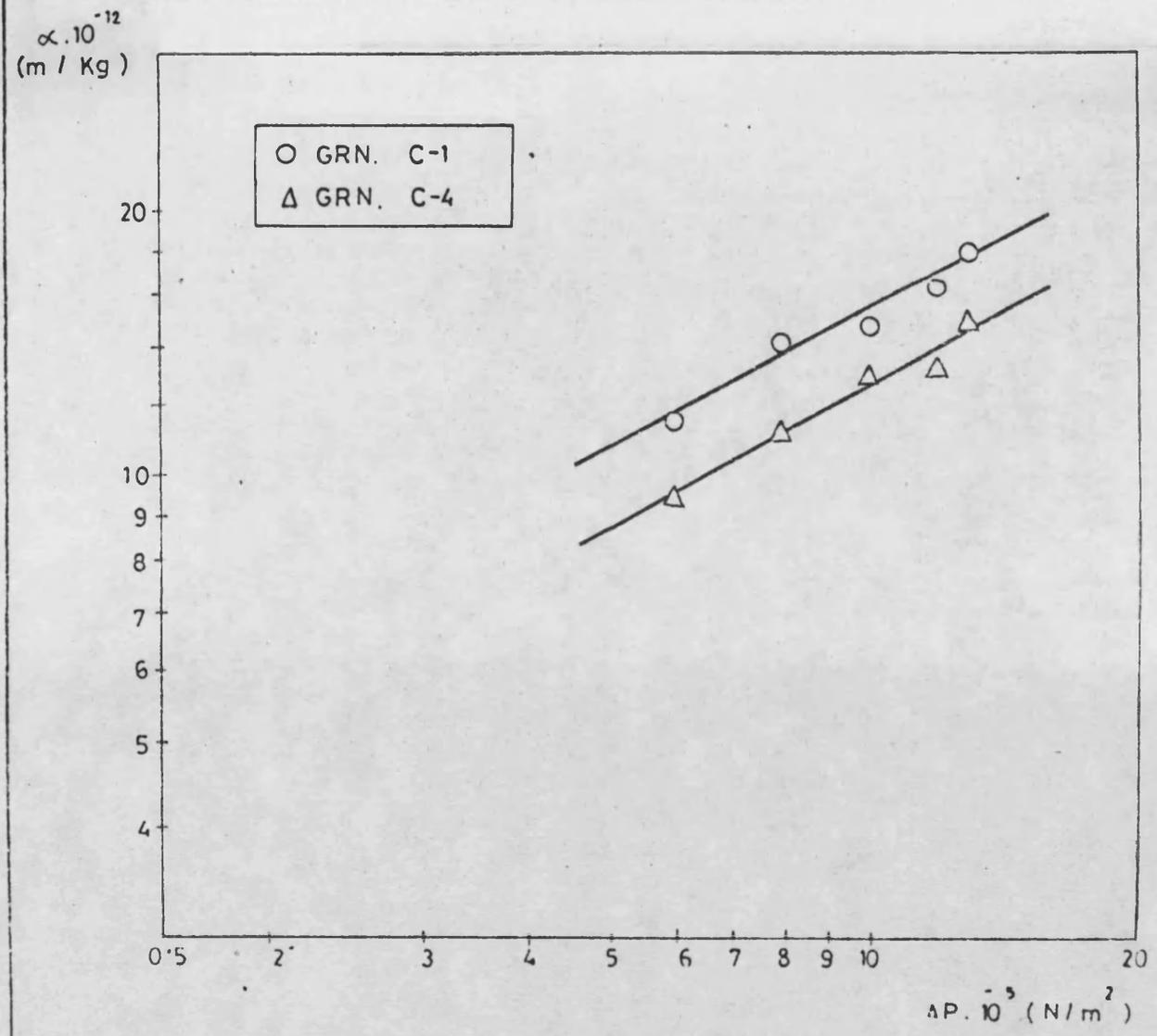


FIG. 6.11. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina calcárea.

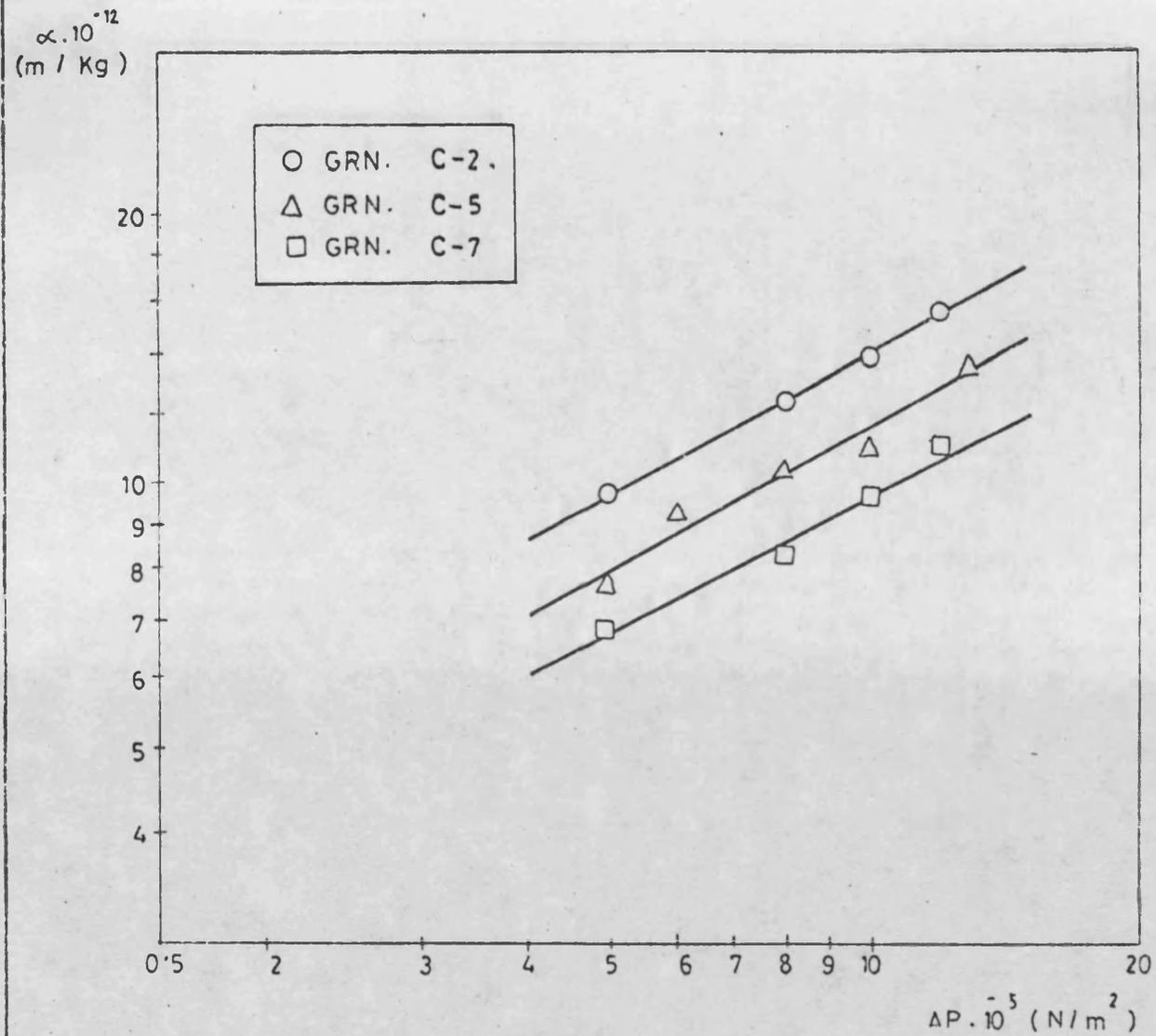


FIG. 6.12. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina calcárea.

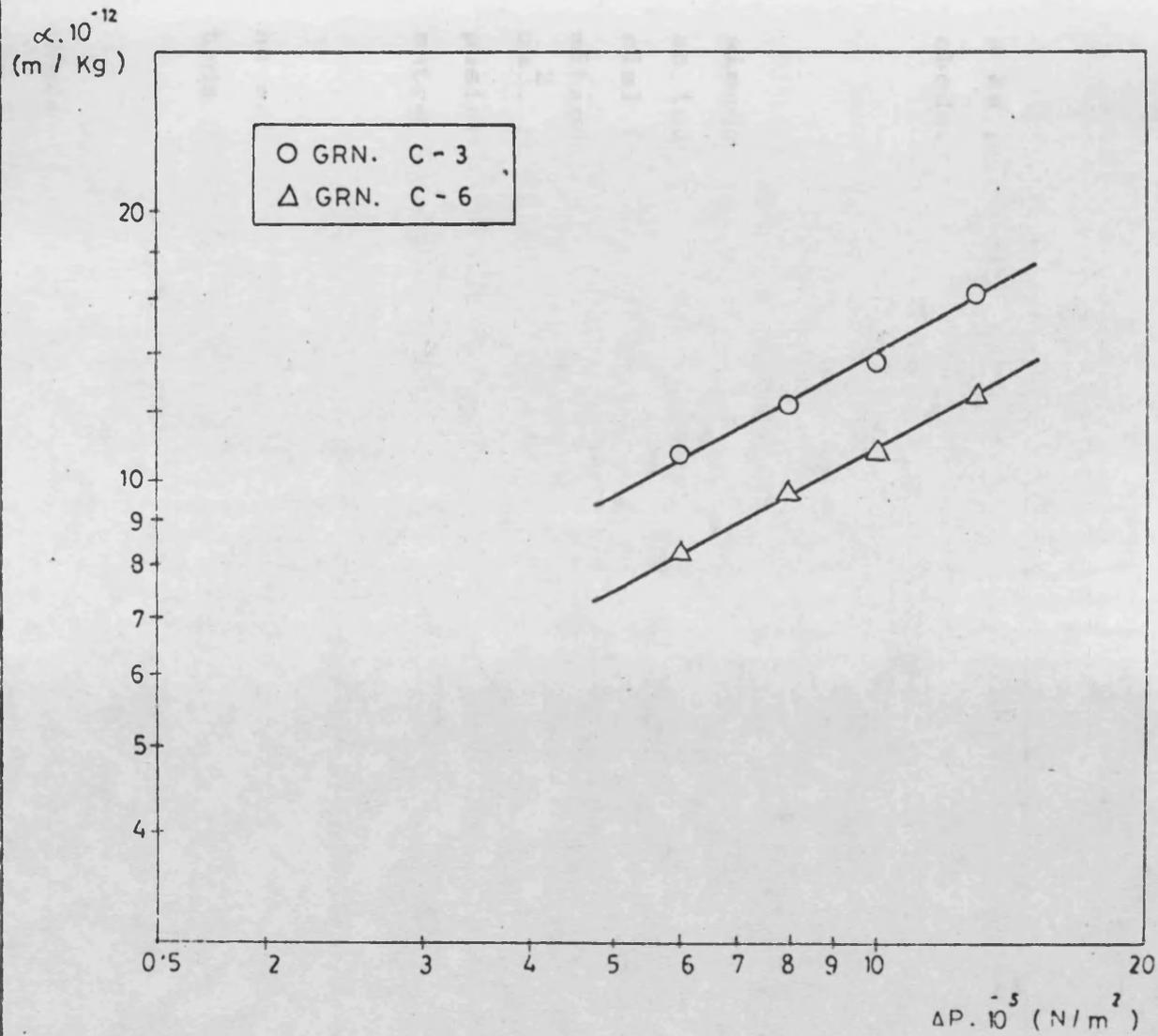


FIG. 6.13. Variación de la resistencia específica con la presión. Barbotina calcárea.

## 6.3.1.2. Efecto sobre la porosidad de la torta.

La dependencia presentada por la porosidad con respecto a la presión, de acuerdo con los experimentos previos descritos, obedecía a una ecuación del tipo:

$$\epsilon = \epsilon_0 \exp (n' \cdot \Delta P) \quad (6-6)$$

siendo  $\epsilon$  la porosidad media en toda la torta. Anteriormente se indicó que Tiller (1953) propuso una ecuación de tipo potencial (2-3) para representar la relación entre  $\epsilon$  y  $\Delta P$ , pero limitando su utilización a presiones comprendidas entre 1 y 7 kg/cm<sup>2</sup>. Por su parte Terzaghi y Peck (1948) y Brociner (1963) propusieron otras de tipo logarítmico (2-4) válidos para presiones entre 10 y 100 kg/cm<sup>2</sup>.

Aunque las presiones utilizadas en el presente estudio no entran completamente en ninguno de los dos casos, se han tratado de aplicar ambas ecuaciones.

Las de tipo logarítmico dieron resultados significativamente inferiores (coeficientes de correlación alrededor de 0,90), por lo que fueron rechazadas. En cuanto a la ecuación propuesta por Tiller resultó adecuada para reproducir estos resultados satisfactoriamente, pero al estudiar la influencia de la granulometría, las constantes obtenidas para estas ecuaciones mostraron un comportamiento aleatorio.

En la ecuación que se propone en este trabajo (6-6) se pudo abordar con éxito el estudio de la influencia de la granulometría, como se indicará en el apartado 6.3.2.

i) Barbotina feldespática II.

En las tablas 6.10 a 6.16 se recogen los valores de la porosidad frente a la presión para las distintas granulometrías estudiadas correspondientes a los experimentos tallados en las tablas 5.34 a 5.64.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (6-6) dió como resultado el conjunto de parámetros que se indican en la tabla 6.34.

TABLA 6.34.

Variación de  $\epsilon$  con la presión

Granulometría	$\epsilon_0$	$n' \cdot 10^8$	coef. correl.
F-1	0,4316	-11,6235	0,98
F-2	0,4367	- 8,5448	0,98
F-3	0,4454	- 5,6936	0,98
F-4	0,4673	- 8,3819	0,96
F-5	0,4893	- 7,5957	0,97
F-6	0,4910	- 4,8789	0,99
F-7	0,5186	- 6,9932	

La representación gráfica de estas ecuaciones, incluyendo los puntos experimentales puede verse en las figuras 6.14 a 6.16.

ii) Barbotina porcelana.

En las tablas 6.18 a 6.24 aparecen recogidos los valores de la porosidad frente a la presión para las distintas granulometrías estudiadas. Los valores originales se dieron en las tablas 5.72 a 5.106.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (6-6) dió como resultado la tabla 6.35.

TABLA 6.35.

Variación de  $\epsilon$  con la presión

Granulometría	$\epsilon_0$	$n' \cdot 10^8$	coef. correl.
P-1	0,4813	- 5,6703	0,97
P-2	0,4814	- 5,3376	0,97
P-3	0,4836	- 5,6280	0,99
P-4	0,4871	- 3,3252	0,95
P-5	0,5060	- 6,0410	0,94
P-6	0,5110	- 6,4660	0,96
P-7	0,5410	- 7,6218	0,97

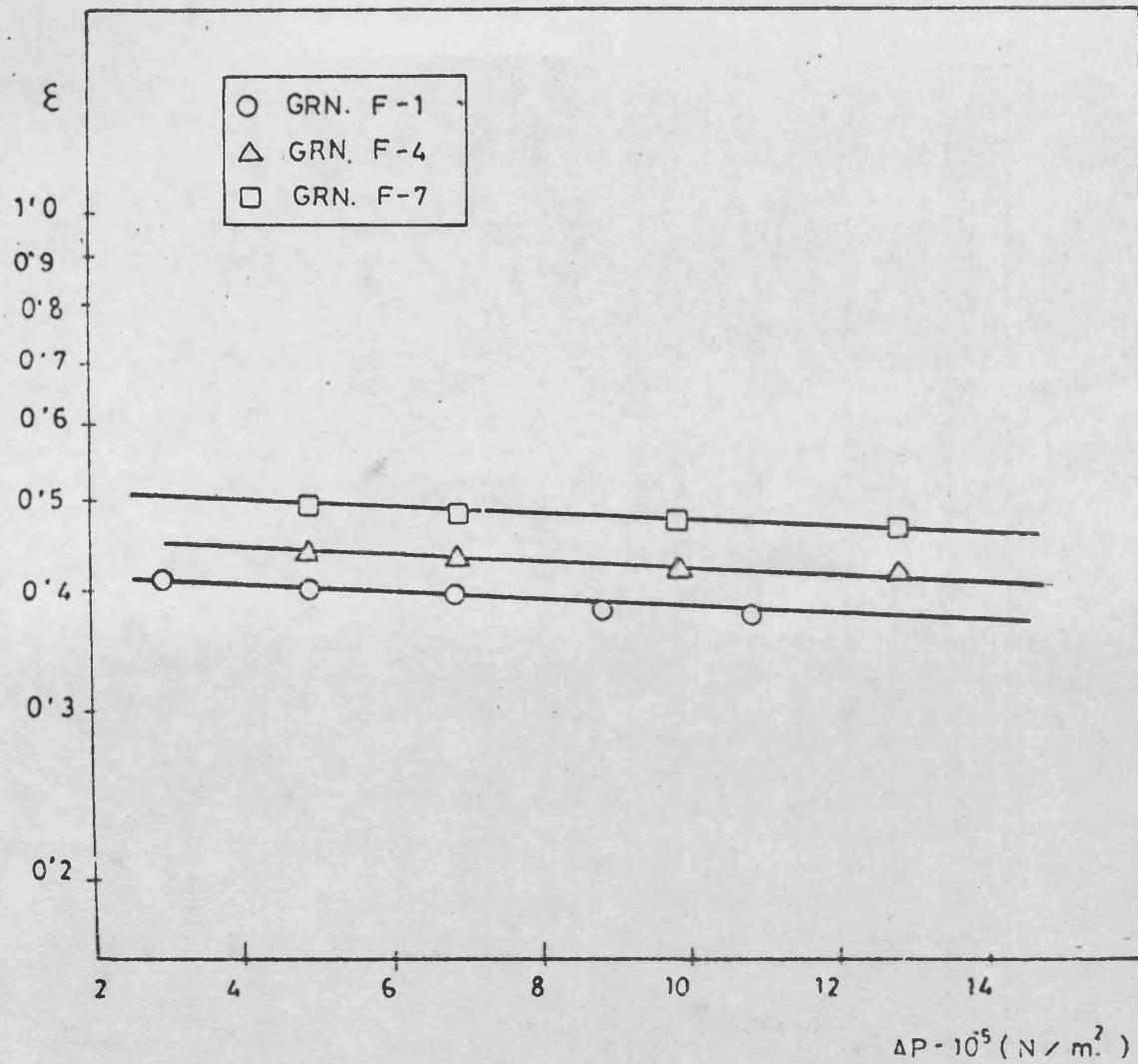


FIG. 6.14. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina feldespática II.

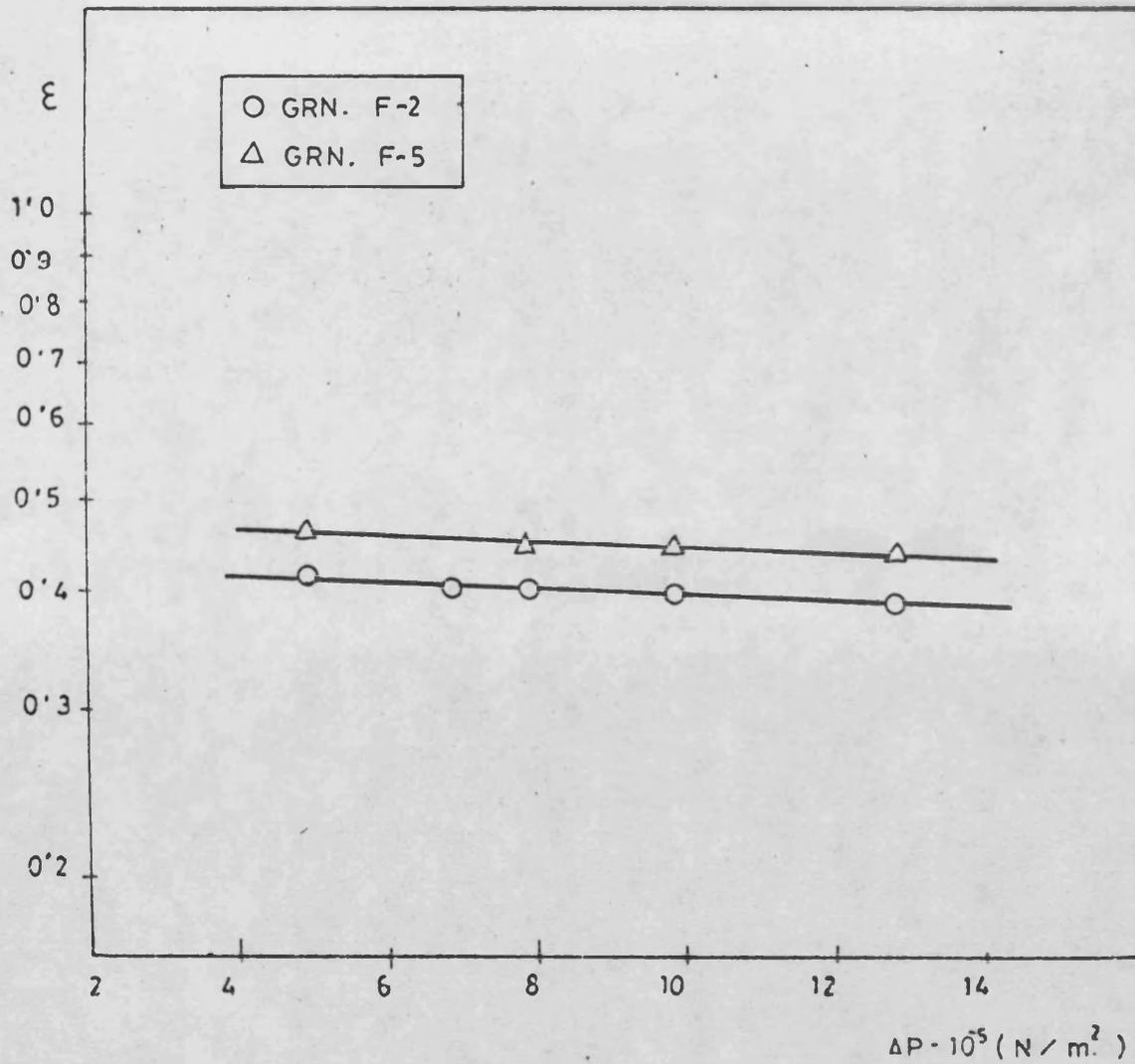


FIG. 6.15. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina feldespática II.

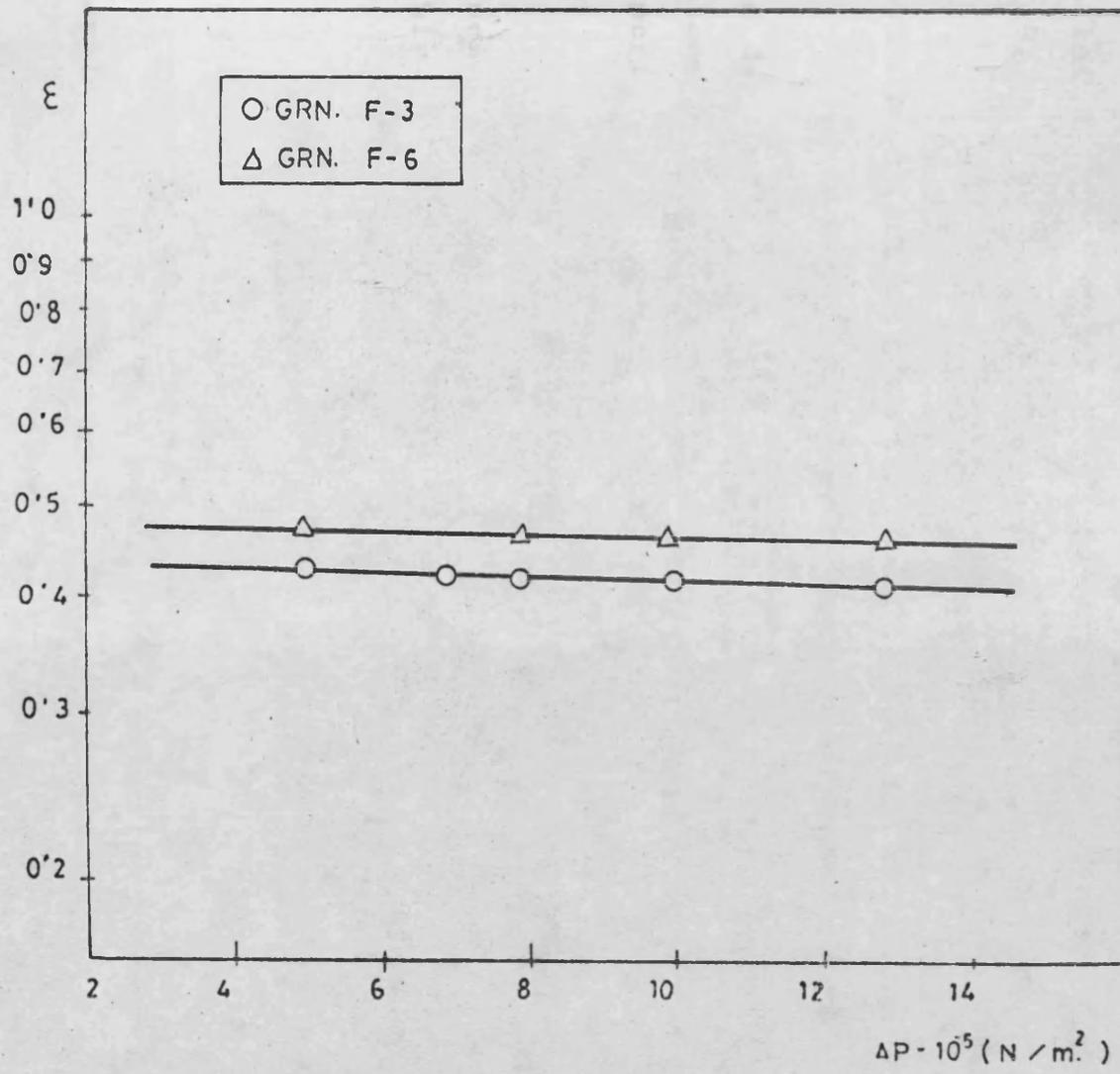


FIG. 6.16. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina feldespática II.

La representación gráfica de estas ecuaciones incluyendo los puntos experimentales puede verse en las figuras 6.17 a 6.19.

iii) Barbotina calcárea.

En las tablas 6.26 a 6.32 aparecen recogidos los valores de la porosidad frente a la presión para las distintas granulometrías estudiadas, que como se indicó corresponden a los experimentos de las tablas 5.113 a 5.143.

El ajuste por mínimos cuadrados de dichos valores a una línea del tipo (6-6) condujo a los parámetros que se dan en la tabla 6.36.

TABLA 6.36.

Variación de  $\epsilon$  con la presión

Granulometría	$\epsilon_0$	$n' \cdot 10^8$	coef. correl.
C-1	0,4467	- 5,8757	0,97
C-2	0,4536	- 6,4438	0,95
C-3	0,4657	- 9,0826	0,96
C-4	0,4675	- 9,6586	0,96
C-5	0,4794	- 3,7423	0,96
C-6	0,5230	- 0,1819	0,96
C-7	0,5342	-13,0949	0,97

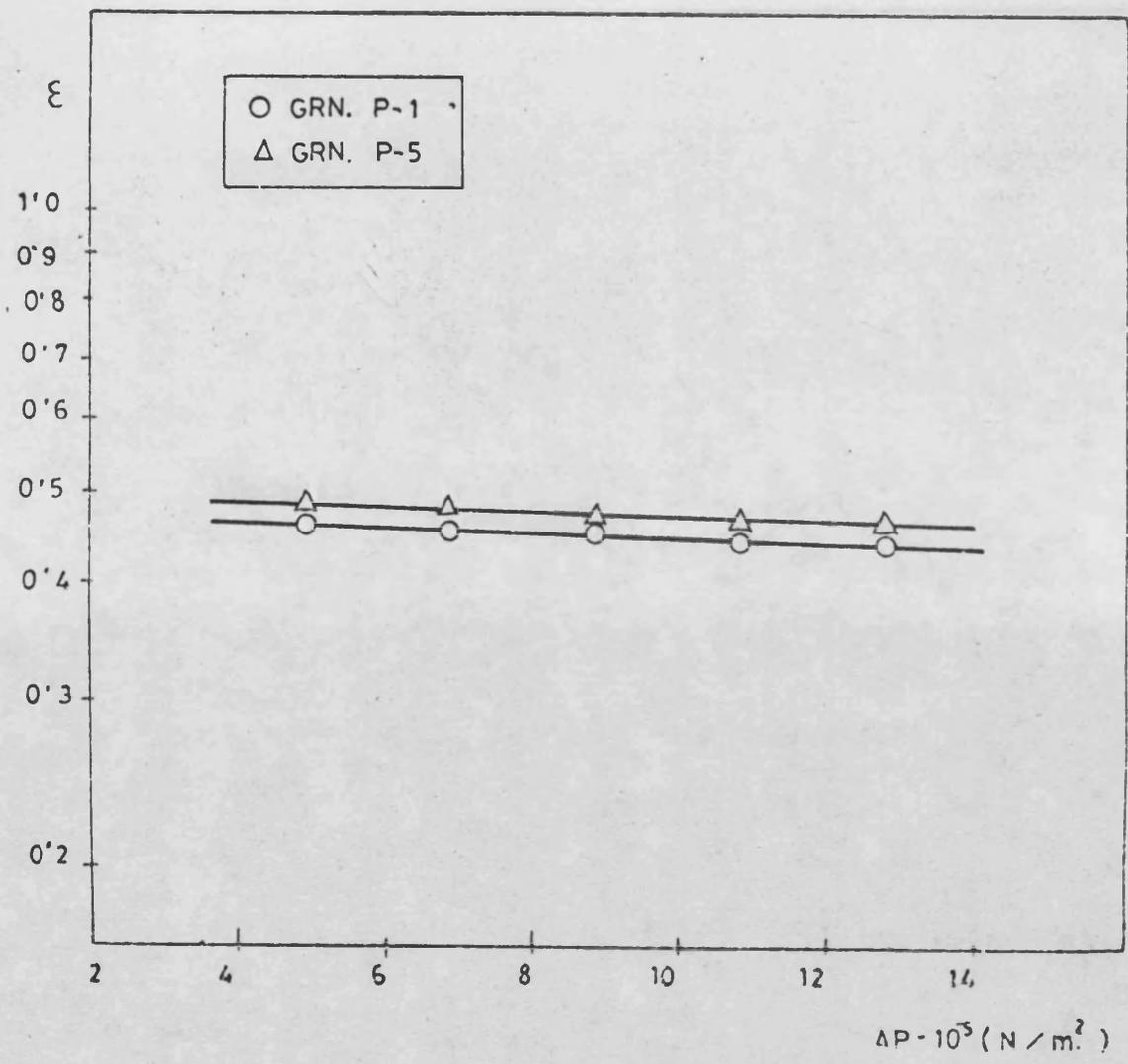


FIG. 6.17. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina porcelana.

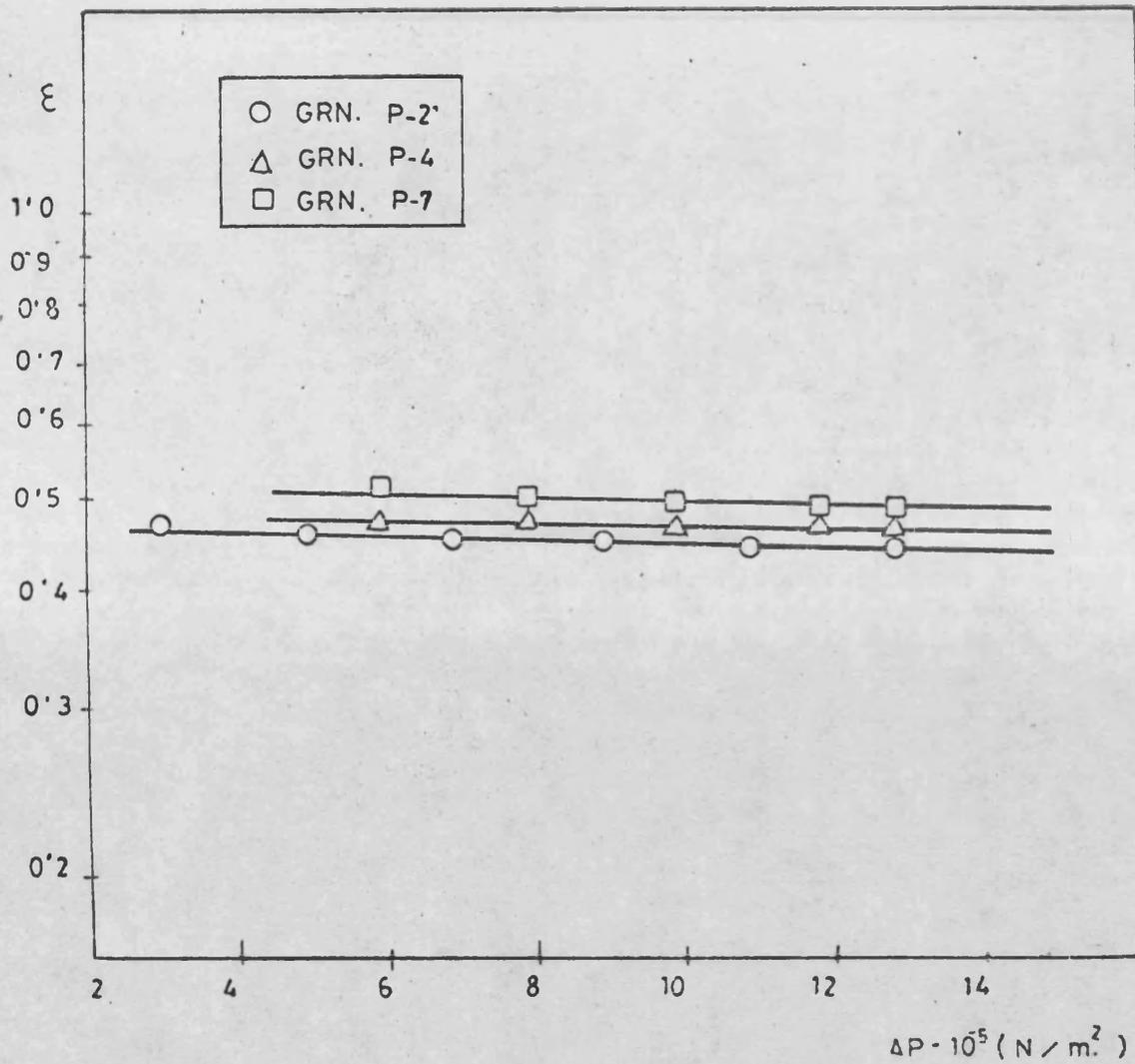


FIG. 6.18. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina porcelana.

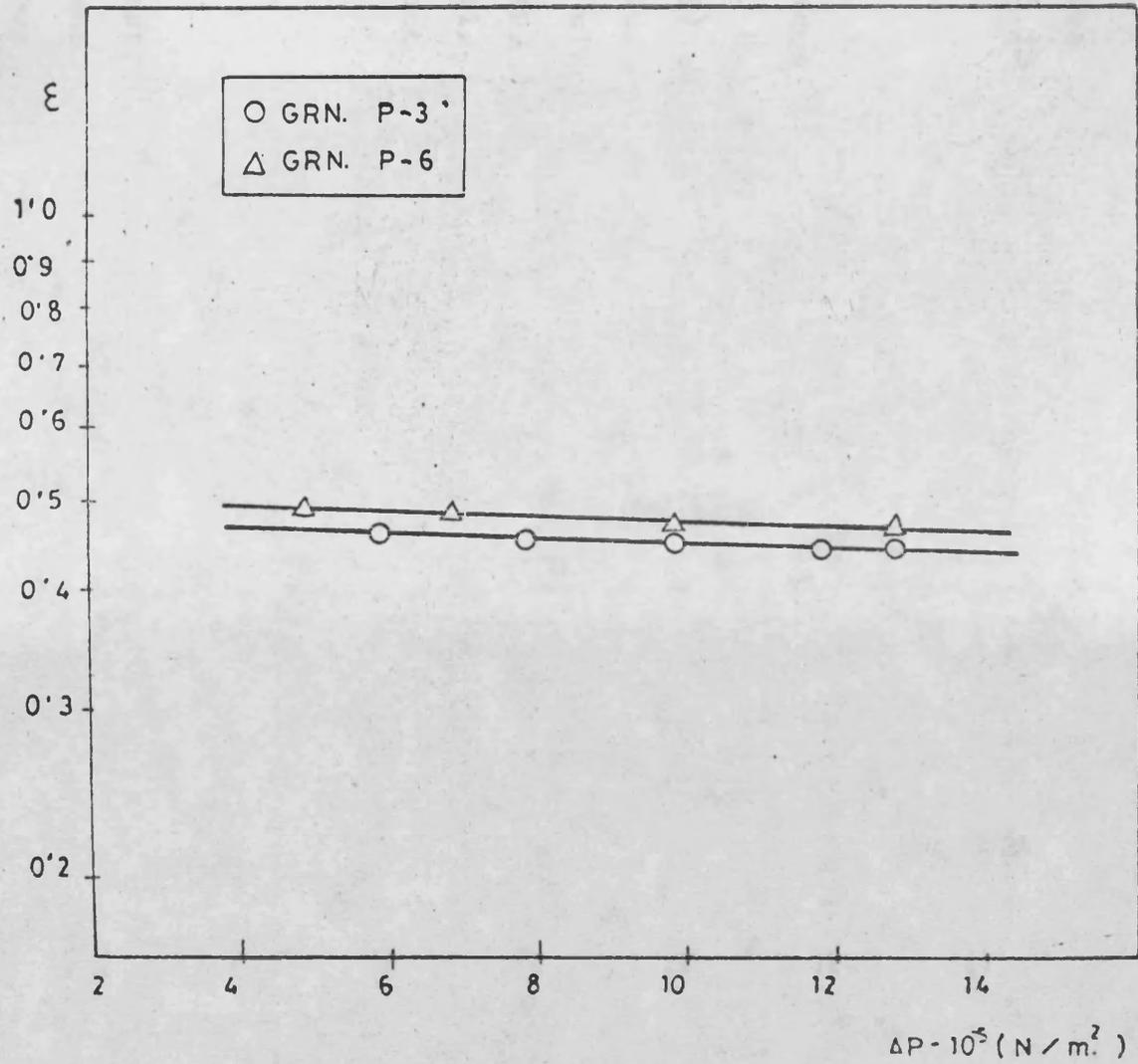


FIG. 6.19. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina porcelana.

La representación gráfica de estas ecuaciones incluyendo los puntos experimentales se encuentra en las figuras 6.20 a 6.23.

Los valores de  $n'$  correspondientes a las tres barbotinas, son del orden de  $10^{-8}$ , mientras que los valores de  $P$  utilizados en los experimentos aquí descritos fueron del orden de  $10^5$ . Esto hace que los valores de la exponencial de la ecuación (6-5) sea muy próximo a la unidad, lo que quiere decir que la influencia de  $\Delta P$  sobre la porosidad es pequeña, como ya había sido comprobado anteriormente en otros trabajos (Tiller y Crump, 1977). Con todo, se mantendrá este término exponencial, utilizando para  $n'$  la media aritmética correspondiente a cada barbotina.

#### 6.3.2. Influencia de la granulometria.

En la bibliografía (Svarovsky, 1977; Dahlstrom, 1978 y Shirato, 1980) se han encontrado algunos trabajos que hacían referencia a la influencia tanto del tamaño medio, como de la distribución de tamaños de partículas, sobre el valor de la resistencia específica de la torta, pero siempre de manera cualitativa, sin expresar esa relación por medio de ecuaciones. De ellos se deduce que los factores que influyen en la permeabilidad de la torta y por lo tanto en su resistencia son de dos tipos:

- un factor representativo del tamaño medio de las partículas,

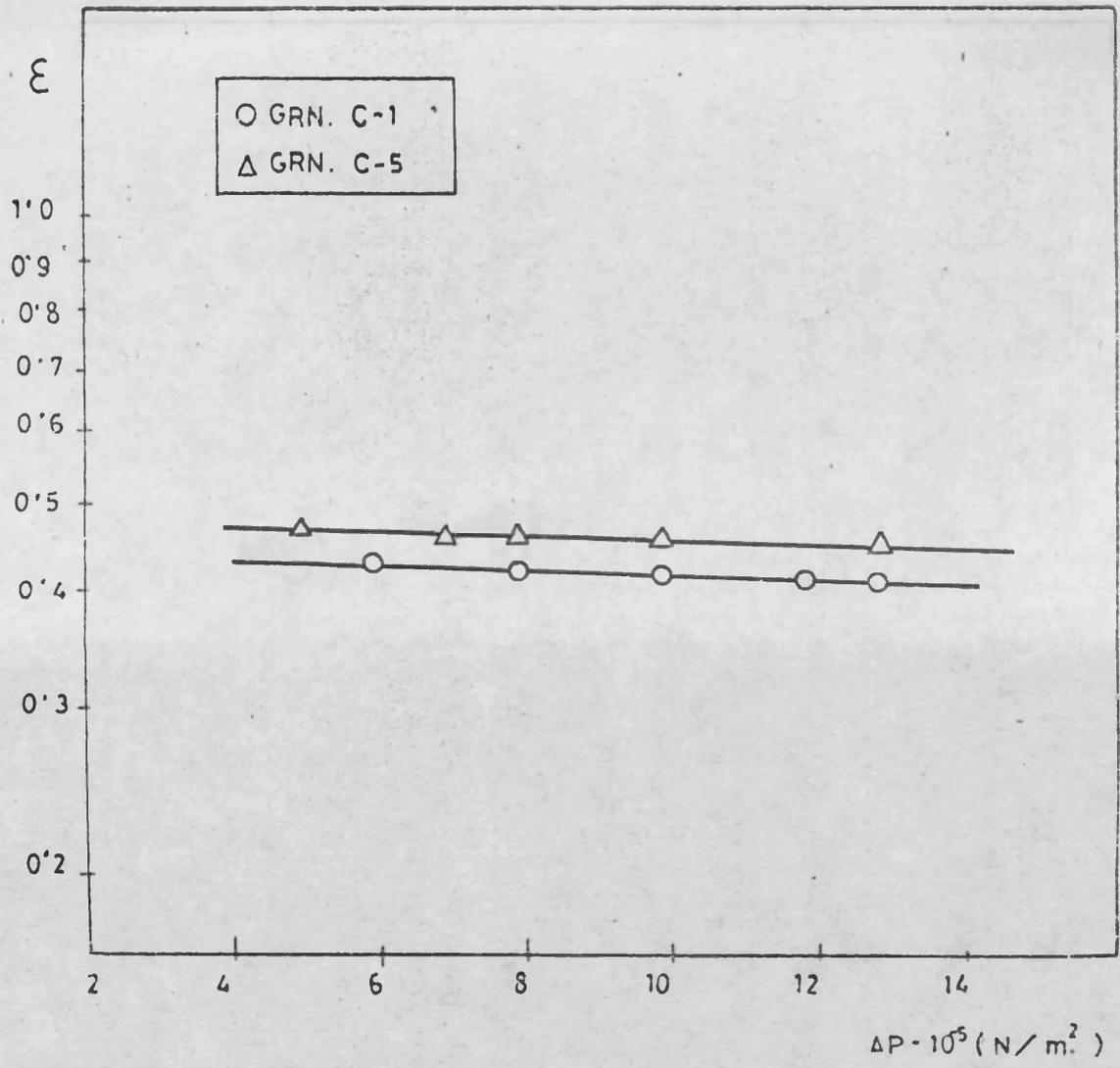


FIG. 6.20. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina calcárea.

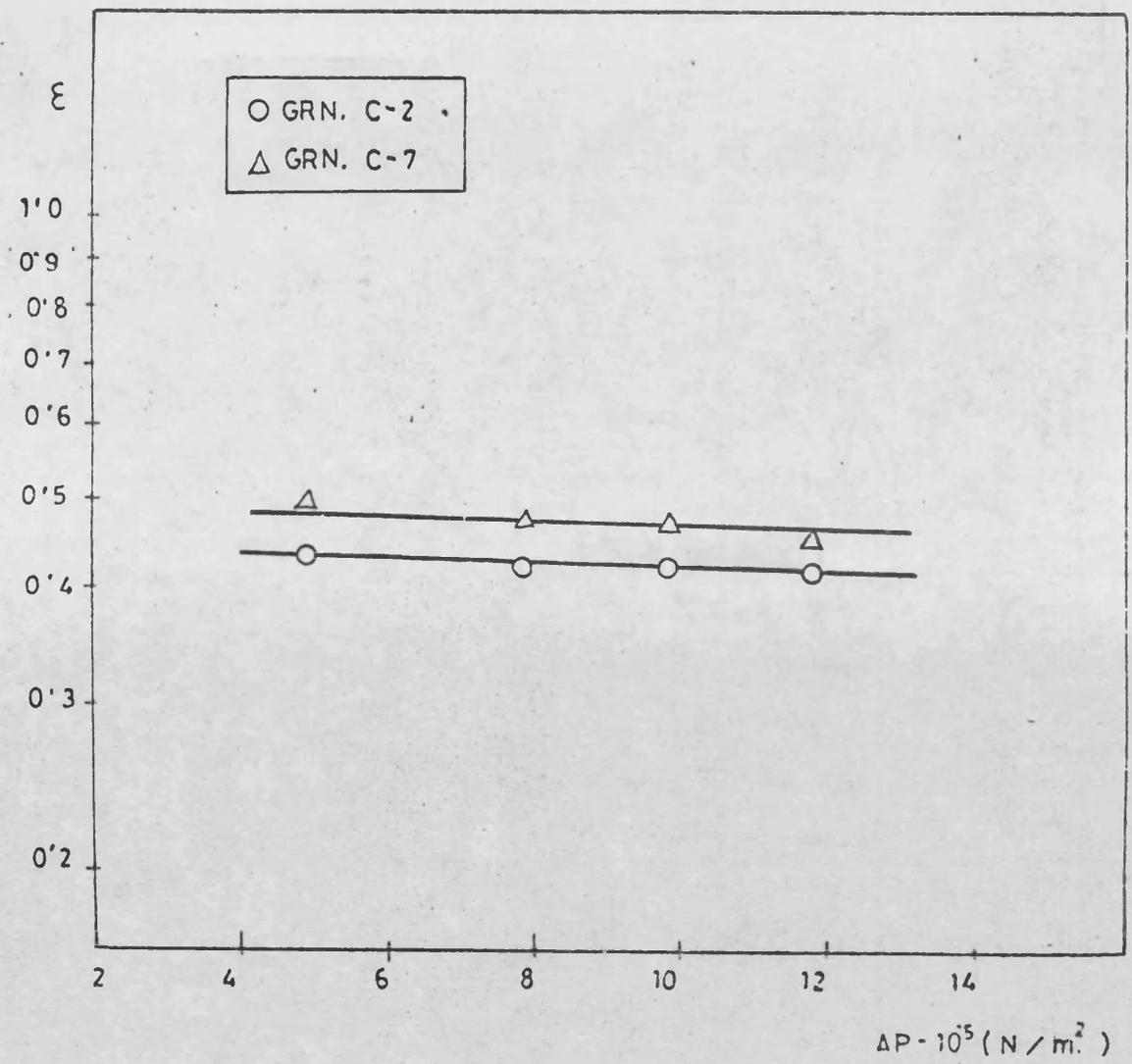


FIG. 6.21. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina calcárea.

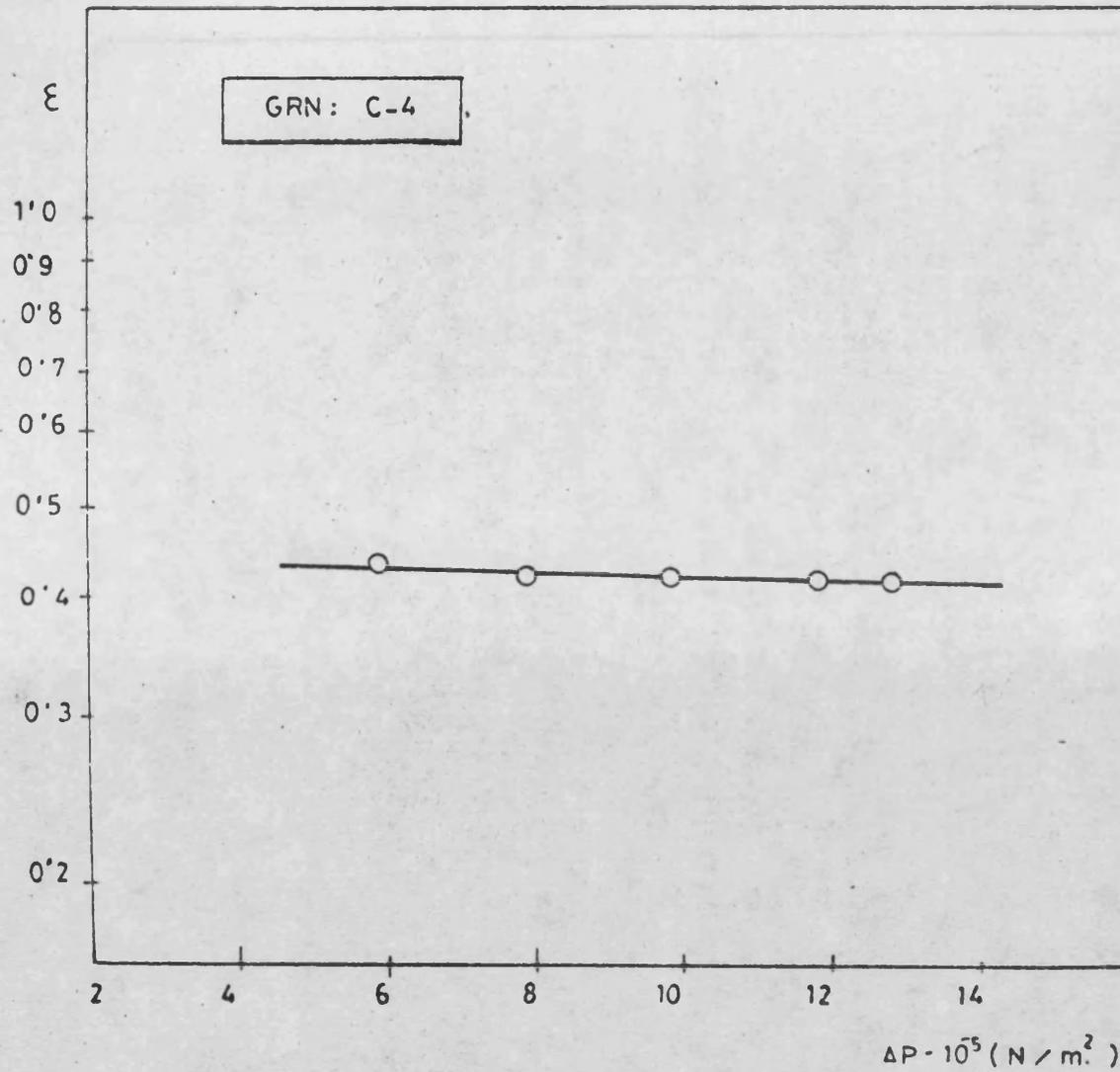


FIG. 6.22. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina calcárea.

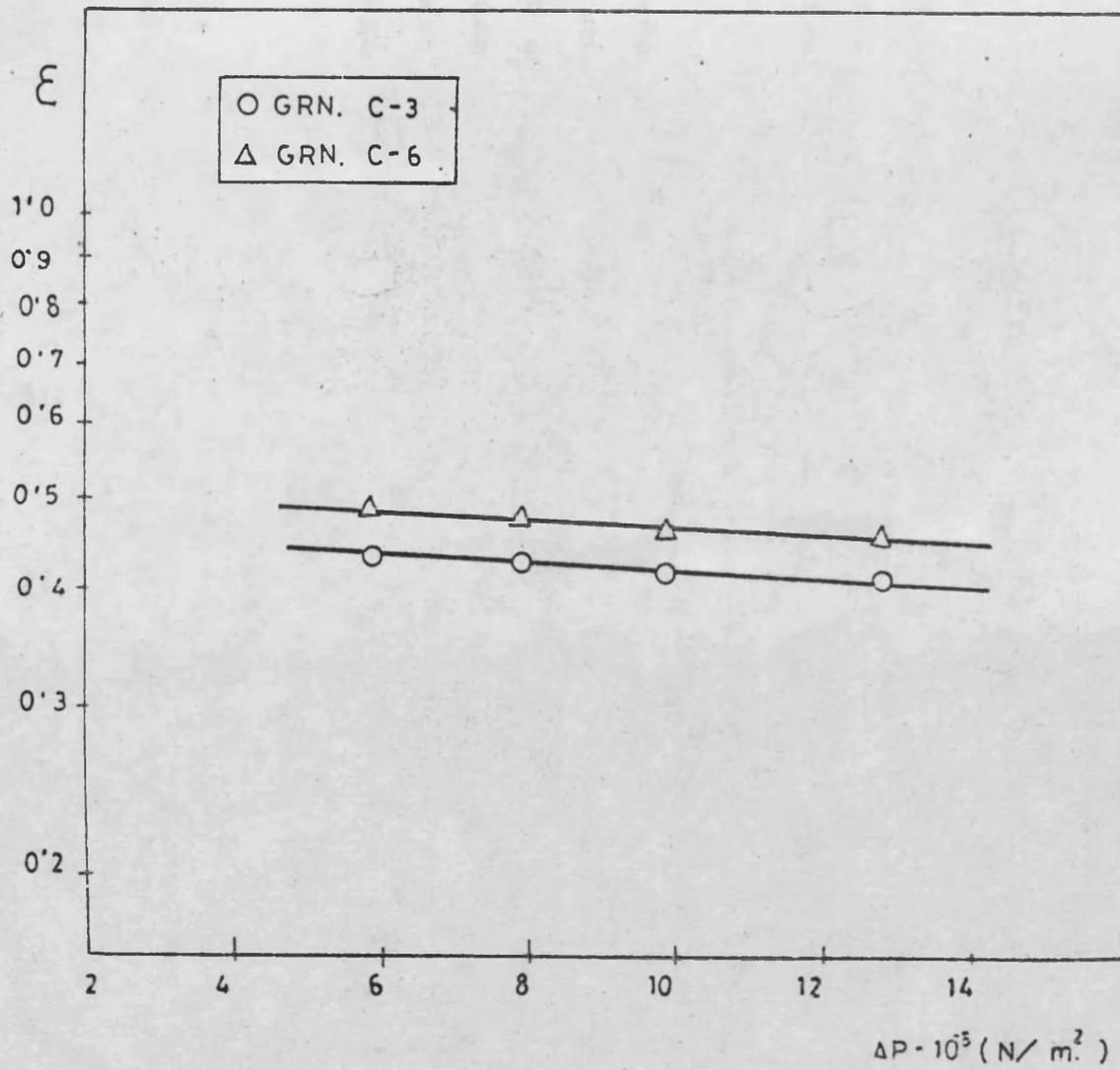


FIG. 6.23. Variación de la porosidad con la presión. Barbotina calcárea.

- y un factor representativo del grado de empaquetamiento de la torta formada.

Una disminución en el tamaño medio de las partículas (suponiendo constante la distribución de tamaños) supone un estrechamiento de los canales por los que circula el líquido y, por lo tanto, un aumento de la resistencia a la filtración.

Por otra parte un sólido con una gran homogeneidad en el tamaño de partícula presentará peor empaquetamiento que otra con una distribución más amplia (suponiendo un mismo tamaño medio). Esto se debe a que en el segundo caso las partículas pequeñas se sitúan en los huecos formados por las mayores, dando lugar a la formación de canales más estrechos. Como consecuencia, a mayor homogeneidad le corresponderá menor resistencia de la torta.

En el proceso de molienda, seguido para la modificación de la granulometría, se afectan simultáneamente ambos factores. En efecto, a mayor tiempo de molienda corresponde una disminución del tamaño medio de partícula y un aumento en el grado de homogeneidad del sólido.

Para tratar de cuantificar ambos efectos se utilizaron dos parámetros.

Como parámetro representativo del tamaño medio, se tomó el porcentaje de partículas menores de 15  $\mu\text{m}$ , A, ya utilizado

por otros autores como medida del tamaño medio en el tratamiento de barbotinas (Brociner, 1963 y Dahlstrom, 1978).

Para caracterizar el grado de empaquetamiento se utilizó una variante del "coeficiente de uniformidad", definido por Hazen y citado por Jimenez y de Justo (1975), B, consistente en la razón del diámetro correspondiente al 80% de las partículas, al diámetro correspondiente al 46 %, en una representación acumulativa de la granulometría.

Sin embargo, como ya se ha dicho, el proceso de molienda afecta simultáneamente a ambos parámetros, de forma que no es factible variar uno de ellos sin modificar al mismo tiempo el otro. No es posible, pues, establecer la influencia de cada uno de ellos por separado, al menos utilizando la molienda como procedimiento para modificar la granulometría.

Como se observa en las tablas 6.37, 6.39 y 6.41, efectivamente ambos parámetros se modifican con la molienda y, por lo tanto, los dos efectos se superponen, predominando en general, la influencia del grado de homogeneidad.

Al tratar de encontrar un modelo matemático que represente la influencia de la granulometría sobre la resistencia y la porosidad, y dado que en la bibliografía no se aporta ninguna ecuación para esta dependencia, se probaron las ecuaciones, de tipo multiparamétrico, más sencillas. Todas ellas pueden englobarse en la forma:

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 f_1(A) + a_2 f_2(B) \quad (6-7)$$

Las funciones probadas para  $f_1(A)$  fueron,  $A$ ,  $\ln A$ ,  $1/A$  y  $\ln(1/A)$ ; para  $f_2(B)$  fueron,  $B$  y  $\ln(B)$ . Combinándolas entre sí se obtuvieron las ecuaciones siguientes:

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 A + a_2 B \quad (6-8 \text{ a})$$

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 \ln A + a_2 B \quad (6-8 \text{ b})$$

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 A + a_2 \ln B \quad (6-8 \text{ c})$$

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 \frac{1}{A} + a_2 B \quad (6-8 \text{ d})$$

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 \frac{1}{A} + a_2 \ln B \quad (6-8 \text{ e})$$

$$\text{Parámetro} = a_0 + a_1 \ln \frac{1}{A} + a_2 \ln B \quad (6-8 \text{ f})$$

El ajuste a dichas ecuaciones se realizó utilizando el método de los mínimos cuadrados, mediante un programa para HP 67/97 recogido en el Apéndice 8.3.2. La bondad de los ajustes se midió a través del error relativo medio de los valores calculados y de su desviación típica.

#### 6.3.2.1. Efecto sobre la resistencia específica de la torta.

La ecuación que relaciona la resistencia específica con la presión, como ya se vió anteriormente, es de la forma:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \Delta P^n \quad (2-11)$$

En el Apartado 6.3.1. se ajustaron los datos experimentales a ecuaciones de este tipo, para cada una de las granulometrías. Tanto en las tablas como en las figuras correspondientes a cada una de las barbotinas, se observa que el coeficiente  $r$  (pendiente de las rectas) es prácticamente constante. Por el contrario la ordenada en el origen ( $\alpha_0$ ) presenta una variación significativa.

Por consiguiente, se han aplicado las ecuaciones (6-8) utilizando como parámetro  $\alpha_0$ .

i) Barbotina feldespática II.

A partir de las curvas granulométricas de las distintas barbotinas preparadas, representadas en las figuras 5.5 a 5.11, se obtuvieron los dos parámetros A y B. Los cuales junto con el valor de  $\alpha_0$  asociado a ellos pueden verse en la tabla 6.37.

TABLA 6.37.

Variación de  $\alpha_0$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\alpha_0 \cdot 10^{-10}$
F-1	56,0	5,35	2,3872
F-2	59,0	5,07	2,0283
F-3	66,6	4,10	1,8956
F-4	69,5	3,76	1,8456
F-5	79,5	3,52	1,6208
F-6	86,5	2,97	1,4087
F-7	90,5	2,95	1,3464

Los valores del error relativo máximo, medio y desviación típica obtenidos para las distintas ecuaciones (6-8) se detallan en la tabla 6.38.

Hay que hacer resaltar que para la obtención de estas ecuaciones se ha utilizado un método puramente matemático, en el cual no cabe tener en cuenta el significado físico de las distintas variables.

Por ello, y pese a lo anteriormente expuesto acerca de la influencia del tamaño medio de partículas sobre la resistencia de la torta, en las distintas ecuaciones probadas se observa siempre una dependencia inversa de  $\alpha_0$  con el parámetro A, lo cual resulta concordante con los valores experimentales.

Es decir estas ecuaciones así obtenidas son puramente empíricas, útiles sólo para una barbotina sometida a un determinado proceso de molienda, quedando implícita en ellas la interdependencia de los dos parámetros A y B, anteriormente expuesta.

TABLA 6.38.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina feldespática II

Ecuación	$E_{\text{máx}}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	s (%)
a	7,16	2,32	2,73
b	6,86	2,39	2,51
c	7,01	2,32	2,83
d	6,36	2,60	2,25
e	6,40	2,70	2,21
f	6,67	2,43	2,49

Todos los errores obtenidos son perfectamente admisibles para el tipo de trabajo experimental realizado, no existiendo por tanto un criterio objetivo que permita seleccionar la curva de mejor ajuste.

Dado que esto mismo ocurre para las otras dos barbotinas estudiadas, como se verá en los apartados siguientes, se tomó como criterio de selección el de mayor simplicidad. Por lo tanto la ecuación seleccionada fue la (6-8 a), que para este caso toma la forma:

$$\alpha_0 = 2,5456 \cdot 10^{10} - 1,6789 \cdot 10^8 A + 1,3114 \cdot 10^9 B$$

(6-9)

ii) Barbotina porcelana.

Los valores de los parámetros obtenidos a partir de las figuras 5.15 a 5.21, aparecen detallados junto con el valor de  $\alpha_0$  asociado a ellos en la tabla 6.39. En ella se observa una irregularidad aparente en el valor de  $\alpha_0$ , para las dos primeras granulometrías, ya que su numeración corresponde a tiempos de molienda crecientes y era de esperar para la granulometría P-2, una disminución en el valor de  $\alpha_0$ , con respecto a la granulometría P-1. Esta anomalía puede deberse al hecho de que en las arcillas denominadas "Ball Clay", (uno de los constituyentes de esta porcelana), el primer efecto de la molturación es una ruptura de agregados de partículas, que dá lugar a una disminución muy marcada del porcentaje de partículas mayores, dando lugar a otras de tamaño medio, sin que, por otra parte,

TABLA 6.39.Variación de  $\alpha_o$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\alpha_o \cdot 10^{-10}$
P-1	68	4,55	1,1550
P-2	70	4,20	1,1744
P-3	70	4,41	1,1141
P-4	73	4,08	1,0530
P-5	75	3,82	1,0394
P-6	79	3,63	0,8928
P-7	83	3,61	0,7550

las partículas más finas aumenten de forma notable (ver figuras 5.15 y 5.16).

En este caso se puede considerar que el efecto de la disminución en el tamaño medio de las partículas prevalece sobre el del aumento en homogeneidad, observándose, por lo tanto, un aumento en la resistencia específica de la torta. A pesar de ello el ajuste de estos valores a las ecuaciones propuestas presenta valores de errores perfectamente admisibles.

Los valores del error relativo máximo medio y desviación típica para las distintas ecuaciones probadas. Se recogen en la tabla 6.40.

TABLA 6.40.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina Porcelana.

Ecuación	$E_{\text{máx}}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	$s$ (%)
a	1,84	0,94	0,56
b	1,84	0,91	0,55
c	2,08	1,00	0,66
d	1,87	0,94	0,55
e	2,18	1,14	0,64
f	2,12	1,00	0,62

Por las mismas razones expuestas para la barbotina fel-despática II, la ecuación seleccionada, dada su mayor simplicidad, fue la (6-8 a), quedando:

$$\alpha_o = 5,0584 \cdot 10^{10} - 4,2113 \cdot 10^8 A - 2,2652 \cdot 10^9 B$$

(6-10)

iii) Barbotina calcárea.

A partir de las curvas granulométricas de las distintas barbotinas preparadas, recogidas en las figuras 5.25 a 5.31, se obtuvieron los parámetros A y B, los cuales, junto con el valor de  $\alpha_o$  asociado a ellos se dan en la tabla 6.41.

TABLA 6.41.Variación de  $\alpha_o$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\alpha_o \cdot 10^{-9}$
C-1	77	5,45	9,8981
C-2	78	5,00	8,9287
C-3	80,5	4,44	8,6878
C-4	84	3,91	7,0390
C-5	89,5	4,10	6,2392
C-6	91	4,00	5,9559
C-7	92,5	3,81	5,7194

Los valores del error relativo máximo, medio y desviación típica obtenidos para las distintas ecuaciones ajustadas se detallan en la tabla 6.42.

TABLA 6.42.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina Calcárea

Ecuación	$E_{\max}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	s (%)
a	4,44	2,40	1,27
b	4,43	2,30	1,32
c	4,16	2,49	1,16
d	4,44	2,19	1,39
e	4,21	2,26	1,27
f	4,18	2,38	1,20

Al igual que en los casos anteriores, todos los errores son perfectamente admisibles por lo que la ecuación seleccionada fue de nuevo la (6-8 a), quedando:

$$\alpha_o = 1,9414 \cdot 10^{10} - 1,8409 \cdot 10^8 A + 8,3494 \cdot 10^8 B \quad (6-11)$$

#### 6.3.2.2. Efecto sobre la porosidad de la torta.

La ecuación que relaciona la porosidad de la torta con la presión, para las tres barbotinas estudiadas es, como ya se vió anteriormente, de la forma:

$$\epsilon = \epsilon_o \exp (n' \Delta P) \quad (6-5)$$

Los valores de  $n'$  obtenidos para los tres casos - (ver Apartado 6.3.1.2.) presentan una variación muy pequeña con la granulometría como se observa en las tablas 6.34 a 6.36 y en las figuras 6.14 a 6.23. Por todo ello y tal como se indicó se tomó como constante y con un valor para cada barbotina - igual a la correspondiente media aritmética.

Así pues, el efecto de la granulometría se refleja exclusivamente en el parámetro  $\epsilon_o$ .

Al igual que en el caso de la resistencia específica, las ecuaciones probadas fueron las englobadas en (6-8), tomándose en este caso,  $\epsilon_0$  como parámetro.

El ajuste a dichas ecuaciones se realizó como antes mediante el criterio de mínimos cuadrados. La bondad de los ajustes se midió a través del error relativo medio de los valores calculados, expresado en % y de la desviación típica de dichos errores. Estos dos valores, junto con el del error máximo, aparecen tabulados para cada barbotina en los siguientes subapartados.

i) Barbotina fel despática II.

Los valores de los parámetros granulométricos A y B, ya utilizados en el apartado anterior, junto con los correspondientes valores de  $\epsilon_0$  se detallan en la tabla 6.43.

TABLA 6.43.

Variación de  $\epsilon_0$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\epsilon_0$
F-1	56,0	5,35	0,4316
F-2	59,0	5,07	0,4367
F-3	66,6	4,10	0,4454
F-4	69,5	3,76	0,4673
F-5	79,5	3,52	0,4893
F-6	86,5	2,97	0,4910
F-7	90,5	2,95	0,5186

Los valores del error relativo máximo, medio y desviación típica obtenidos para las distintas ecuaciones probadas, se dan en la tabla 6.44.

TABLA 6.44.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina feldespática II

Ecuación	$E_{\text{máx}}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	s (%)
a	2,18	1,12	0,80
b	2,01	1,13	0,79
c	2,08	1,10	0,80
d	2,00	1,34	0,60
e	2,71	1,43	0,82
f	1,98	1,18	0,71

Al igual que ocurría con las ecuaciones probadas para reflejar la influencia de la granulometría sobre la resistencia específica de la torta, los errores obtenidos al probar las distintas ecuaciones son todos admisibles y dado que esto ocurre para las tres barbotinas, como se verá en los apartados siguientes, se seleccionó la ecuación más sencilla, quedando

$$\epsilon_o = 0,2319 + 2,8715 \cdot 10^{-3} A + 7,1573 \cdot 10^{-3} B \quad (6-12)$$

## ii) Barbotina porcelana.

Los valores de los parámetros granulométricos A y B para las distintas muestras preparadas, junto con los correspondientes valores de  $\epsilon_o$ , se muestran en la tabla 6.45.

TABLA 6.45.

Variación de  $\epsilon_o$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\epsilon_o$
P-1	68	4,55	0,4819
P-2	70	4,20	0,4813
P-3	70	4,41	0,4836
P-4	73	4,08	0,4871
P-5	75	3,82	0,5060
P-6	79	3,63	0,5110
P-7	83	3,61	0,5410

También aquí se observan unos valores anómalos para las granulometrías P-1 y P-2, al igual que en el estudio de la resistencia específica. En aquel momento se dió una posible explicación de este hecho.

En la tabla 6.46 se recogen los valores del error relativo medio, máximo y su desviación típica para las distintas ecuaciones probadas. Al igual que ocurría para la resistencia específica, estos valores muestran la bondad de los parámetros para representar la granulometría de una barbotina.

TABLA 6.46.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina porcelana

Ecuación	$E_{\text{máx}}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	s (%)
a	1,46	0,84	0,50
b	1,61	0,91	0,47
c	1,53	0,84	0,51
d	1,78	0,94	0,51
e	2,16	0,85	0,70
f	1,92	0,78	0,67

Como se dijo en el apartado anterior, todos los errores son admisibles por lo que se seleccionó la ecuación más sencilla de todas quedando,

$$\epsilon_o = -2,2819 \cdot 10^{-2} + 5,6200 \cdot 10^{-3} A + 2,6164 \cdot 10^{-2} B$$

(6-13)

## iii) Barbotina calcárea.

Los valores de los parámetros granulométricos A y B, para las distintas muestras preparadas, junto con los correspondientes valores de  $\epsilon_o$  se detallan en la tabla 6.47.

TABLA 6.47.

Variación de  $\epsilon_o$  con la granulometría

Granulometría	A	B	$\epsilon_o$
C-1	77,0	5,45	0,4467
C-2	78,0	5,00	0,4536
C-3	80,5	4,44	0,4657
C-4	84,0	3,91	0,4675
C-5	89,5	4,10	0,4794
C-6	91,0	4,00	0,5230
C-7	92,5	3,81	0,5342

Los valores del error relativo máximo, medio y desviación típica para las distintas curvas probadas se detallan en la tabla 6.48.

TABLA 6.48.

Comprobación de las ecuaciones (6-8). Barbotina calcárea

Ecuación	E <sub>máx</sub> (%)	E <sub>med</sub> (%)	s (%)
a	5,57	1,99	1,73
b	5,66	2,04	1,77
c	5,59	1,97	1,77
d	5,75	2,08	1,31
e	5,78	2,05	1,86
f	5,69	2,01	1,81

Al igual que en los casos anteriores todos los errores son similares por lo que se ha representado la influencia de la granulometría mediante la ecuación (6-8 a).

$$\epsilon_o = -3,3356 \cdot 10^{-2} + 5,6113 \cdot 10^{-3} A + 9,0809 \cdot 10^{-3} B$$

(6-14)

#### 6.4. OBTENCION DE LAS ECUACIONES REPRESENTATIVAS DEL PROCESO.

De los resultados obtenidos para los experimentos previos se dedujo la no influencia en los valores de la resistencia y porosidad, del volumen de barbotina utilizado ni de la concentración inicial de sólidos de la barbotina (al menos dentro del intervalo de concentraciones 0,20 - 0,42 estudiado en el presen-

te trabajo). Se considerará, pues, la influencia de este último parámetro sólo sobre la velocidad de filtración, y sobre el tiempo total de filtrado.

En la ecuación general de filtración a presión constante (2-23) puede observarse que la velocidad de filtración disminuye al aumentar el contenido inicial en sólidos ( $x$ ). Por otro lado este aumento conlleva una disminución en el volumen de líquido que debe atravesar la torta, para obtener una humedad final determinada. Ambos efectos son, pues, opuestos y se ha comprobado experimentalmente que el resultado final es una disminución en el tiempo de filtrado.

Al despreciar también la resistencia del medio filtrante, en base a una serie de experimentos en los que se calculó y comparó su valor con la resistencia ofrecida por la torta, quedaron como variables de la filtración la presión aplicada y la composición y granulometría de la muestra ensayada.

Dada la imposibilidad de cuantificar el efecto de la composición se estudió la influencia de las otras dos variables en la filtración de las distintas barbotinas.

Se han obtenido así, un total de seis ecuaciones, dos para cada barbotina, que permiten calcular para cada granulometría y presión empleadas, la resistencia específica y porosidad de la torta que se forme.

En efecto, uniendo las ecuaciones deducidas en el Apartado 6.3.1. con las obtenidas en el Apartado 6.3.2., se obtiene:

- Barbotina feldespática II.

$$\alpha = (2,5456 \cdot 10^{10} - 1,7577 \cdot 10^8 A + 1,3114 \cdot 10^9 B) \Delta P^{0,4385} \quad (6-15)$$

$$\epsilon = (0,2319 + 2,8715 \cdot 10^{-3} A + 7,1573 \cdot 10^{-3} B) \exp(-7,6731 \cdot 10^{-8} \Delta P) \quad (6-16)$$

- Barbotina porcelana.

$$\alpha = 5,0584 \cdot 10^{10} - 4,2113 \cdot 10^8 A - 2,2652 \cdot 10^9 B) \Delta P^{0,4462} \quad (6-17)$$

$$\epsilon = (-2,2819 \cdot 10^{-2} + 5,6200 \cdot 10^{-3} A + 2,6164 \cdot 10^{-2} B) \exp(-5,7271 \cdot 10^{-8} \Delta P) \quad (6-18)$$

- Barbotina calcárea.

$$\alpha = (1,9414 \cdot 10^{10} - 1,8409 \cdot 10^8 A + 8,3494 \cdot 10^8 B) \Delta P^{0,5392} \quad (6-19)$$

$$\epsilon = (-3,3356 \cdot 10^{-2} + 5,6113 \cdot 10^{-3} A + 9,0809 \cdot 10^{-3} B) \exp(-6,8685 \cdot 10^{-8} \Delta P) \quad (6-20)$$

#### 6.5. COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES PROPUESTAS.

Cada una de las ecuaciones obtenidas en el apartado anterior relaciona entre sí un total de cuatro parámetros no admitiendo, por lo tanto, una representación gráfica (su representación en un espacio de cuatro dimensiones sería una hipersuperficie), ni los tests más utilizados de significación estadística. Se ha recurrido por tanto, a un método simple, pero que permite comprobar claramente la validez de las ecuaciones obtenidas, y que ha consistido en la comparación directa del valor calculado con el experimental, para todos los datos disponibles.

Dado que cada una de las ecuaciones se ha obtenido a partir de más de 30 puntos experimentales, se puede considerar, teniendo en cuenta la teoría estadística de pequeñas muestras, que son representativas del fenómeno estudiado.

Los valores del error relativo para cada uno de los puntos experimentales aparecen tabulados en el Apéndice 8.3.3.

A continuación en la tabla 6.49, se da para cada una de las ecuaciones obtenidas, el valor medio y máximo del error relativo, así como su desviación típica.

TABLA 6.49.

Comprobación de las ecuaciones (6-15) a (6-20)

Ecuación	$E_{\text{máx}}$ (%)	$E_{\text{med}}$ (%)	$s$ (%)
(6-15)	15,82	6,10	3,58
(6-16)	4,64	1,31	1,03
(6-17)	11,34	4,95	3,26
(6-18)	2,64	0,93	0,67
(6-19)	12,42	5,95	3,87
(6-20)	4,63	1,73	1,29

Se debe indicar que los valores realmente representativos del grado de ajuste alcanzado corresponden a los valores de error medio y desviación típica, pues supuesta una distribución normal del valor absoluto de los errores, los valores máximos quedan prácticamente en la totalidad de los casos fuera del intervalo  $E_{\text{med}} \pm 2s$ , que incluye el 95,45% de los valores del error, lo cual significa que los experimentos para los que se obtuvo el error máximo pueden considerarse como no representativos.

#### 6.6. APLICACION DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS A LOS FILTROS PRENSA INDUSTRIALES.

La utilización de una célula de filtración a presión para predecir el comportamiento de una barbotina determinada en

un filtro prensa industrial ha sido ampliamente aceptada, encontrándose en la bibliografía un gran número de trabajos en los que los datos experimentales se han obtenido en un aparato de laboratorio de este tipo. Entre ellos se encuentran: Ruth (1946), Grace (1953), Kottwitz (1958), Shirato (1960, 1971, 1977, 1980), Brociner (1963), Gwilliam (1970), Tiller (1972 a), (1972 b) (1977), etc.

A pesar de que todos los autores citados coinciden en la aplicabilidad de las ecuaciones obtenidas en estos filtros de laboratorio, a la filtración a escala industrial, se ha considerado interesante hacer una breve descripción de este proceso.

#### 6.6.1. Mecanismo del proceso de filtración a presión en la industria.

Al estudiar la teoría de la filtración (Apartado 2.3) se vió que para los filtros prensa de platos y marcos industriales el proceso se podía considerar constituido inicialmente por una filtración a velocidad constante, con un aumento progresivo de la presión, seguido de un seriodo a presión constante, una vez que ésta ha alcanzado su valor límite.

En la práctica esto no es exactamente así ya que la velocidad inicial de filtración está controlada para evitar un valor demasiado grande que produciría el paso de una cantidad considerable de sólidos a través de la tela filtrante.

Por otro lado, hay que tener en cuenta también, el tiempo necesario para llenar las cámaras, durante el cual la filtración se está produciendo prácticamente por gravedad. Este tiempo depende del tipo de filtro prensa y de la bomba utilizados pero oscila entre 10-30 minutos.

Por otro lado, durante el periodo considerado a presión constante, la presión, aunque muy lentamente, continúa aumentando de valor hasta el final de la operación.

En la figura (6-<sup>24</sup>) se muestra la variación de la presión con el tiempo obtenida en un filtro de platos y marcos industrial trabajando con una barbotina equivalente a la denominada feldespática I en este trabajo.

Brociner (1963) al realizar un estudio de la filtración a escala industrial encontró que al representar gráficamente el cuadrado del volumen filtrado,  $V$ , frente al tiempo, la pendiente de la curva es constante desde el comienzo de la filtración hasta el momento en que se ha formado la mayor parte de la torta, cumpliéndose en éste intervalo las ecuaciones correspondientes a la filtración a presión constante.

Por contra observó que una vez alcanzada esta situación, el proceso no se ajusta ya a estas ecuaciones, obteniéndose tiempo de filtración mucho mayores a los previstos por la teoría. Este hecho lo explica al estudiar la formación de la torta en este tipo de filtros prensa. Al comienzo tiene lugar la deposi-

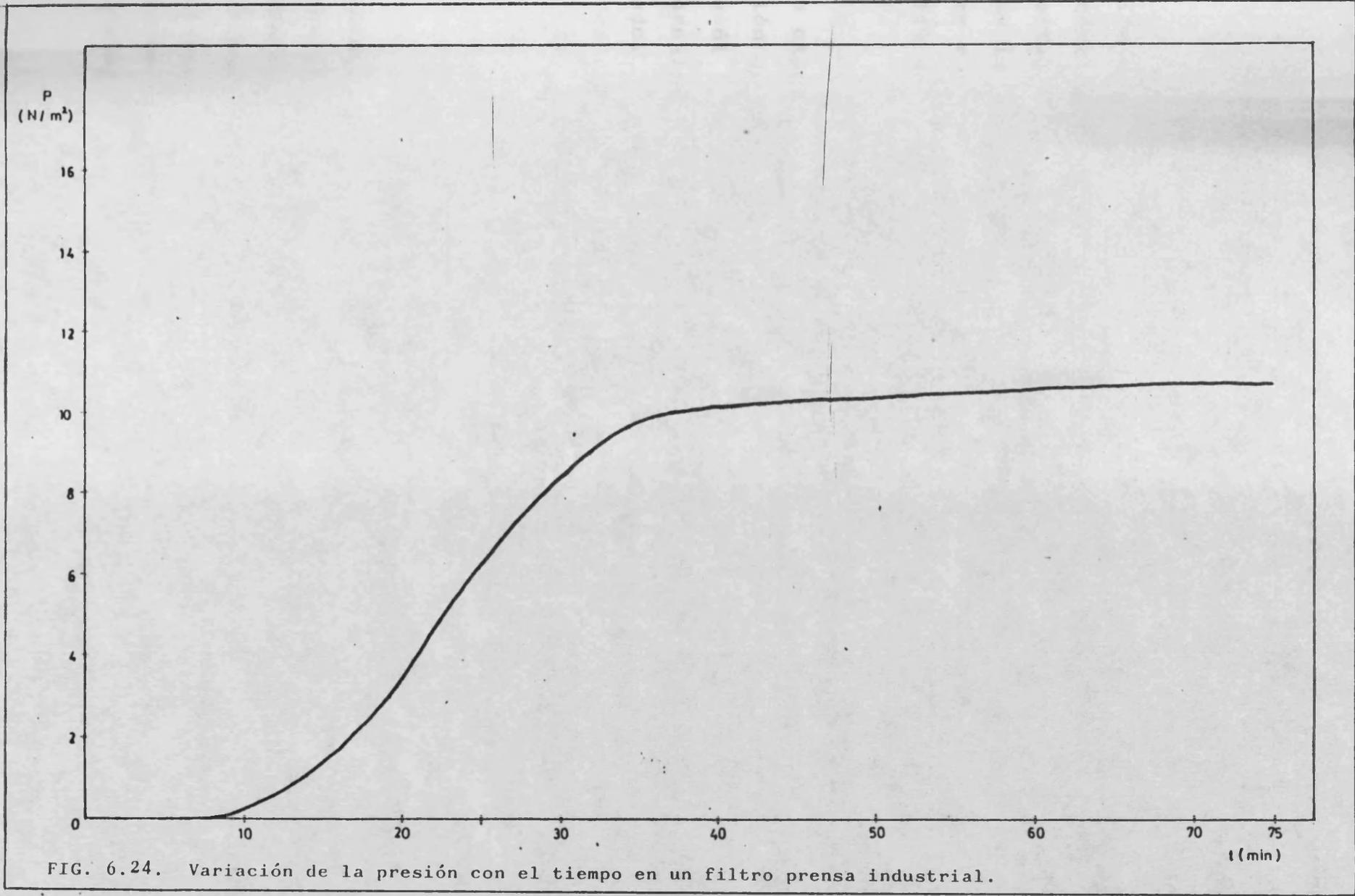


FIG. 6.24. Variación de la presión con el tiempo en un filtro prensa industrial.

ción de capas de torta sobre la tela filtrante. Una vez que prácticamente se han formado las dos terceras partes de la torta, las dos capas comienzan a unirse entre sí haciendo que la filtración tenga lugar a través de una serie de canales radiales, produciendo una disminución gradual del área útil de filtración y por lo tanto de la velocidad de filtrado.

Por lo que, tanto en base a la teoría clásica como a lo expuesto por Brociner, se puede considerar, para la aplicación de ecuaciones representativas del proceso, que gran parte de él tiene lugar a presión constante, debiendo calcularse la porosidad y resistencia de la torta a la presión máxima de trabajo.

#### 6.6.2. Semejanzas y diferencias de los procesos de filtración a presión, a escala industrial y de laboratorio.

La mayor concordancia se encuentra en los valores de la resistencia específica de la torta, si el valor obtenido en el laboratorio se ha calculado, como se acaba de indicar, a una presión igual a la máxima alcanzada por la prensa industrial. Para que todo esto sea cierto, debe poder despreciarse la fricción con las paredes, lo cual ocurre para valores del cociente espesor de torta partido por diámetro de la célula inferiores a 0,6 (Grace, 1953, Tiller 1972).

Esta concordancia se encuentra reflejada en numerosos trabajos: Shirato y colaboradores (1955, 1968, 1967) Igmanson (1953) Kottwitz (1958), etc.

Una menor concordancia aparece en la comparación de los valores de la humedad final de la torta, debido principalmente a la distinta forma de establecer el final de la operación en los dos aparatos. La filtración en el aparato de laboratorio finaliza bruscamente, en el momento en que toda la barbotina se ha depositado en forma de torta y la capa superior de sólidos tiene que soportar el total de la presión dando lugar a la formación de grietas. Sin embargo en un filtro de platos y marcos industrial el proceso no alcanza este final brusco, ya que la presión es aplicada siempre sobre el fluido alimento. Por lo tanto el final de la operación depende del criterio empleado para ello. En general puede considerarse completo el proceso cuando el caudal de filtrado es menor que un cierto valor establecido.

Otra diferencia observada es en la influencia de la concentración inicial de sólidos. Para el filtro de laboratorio se demostró que ésta era despreciable y del mismo orden de magnitud que el error experimental cometido. Sin embargo para un filtro prensa industrial se encontró un mayor contenido en humedad en las tortas formadas utilizando barbotinas más concentradas, para una misma variación de la presión con el tiempo. Esto se debe a que la torta se forma más rápidamente y por lo tanto a pre-

siones más bajas que con barbotinas diluidas, presentando menor compactación. Para obtener una humedad final menor habrá que aumentar la velocidad de variación de la presión con el tiempo, aunque esto lleva consigo un mayor riesgo de ruptura de platos, y una disminución en la calidad del filtrado, al aumentar la velocidad inicial de filtración.

6.6.3. Utilidad de las ecuaciones deducidas de la predicción del comportamiento de las barbotinas en los filtros prensa industriales.

Brociner (1963) comprobó la validez de los resultados obtenidos mediante un aparato de laboratorio (semejante al empleado en este trabajo, al ser aplicado al proceso industrial).

Para ello, calculó a partir de los datos obtenidos en el laboratorio el valor de  $V^2/t$  (pendiente de la recta  $V^2 = f(t)$ ) esperado para el filtro prensa industrial y lo comparó con el medido directamente, observando una gran concordancia entre los dos valores.

Todo ello permite la utilización de las ecuaciones obtenidas en este trabajo para predecir el comportamiento de una determinada barbotina en una prensa industrial y para tratar de establecer, dentro de los márgenes industriales, las condiciones óptimas de trabajo que den lugar a una torta con el mínimo contenido en humedad, en el menor tiempo.

Como se puede observar a la vista del tipo de ecuaciones obtenidas, no es posible realizar el cálculo analítico de los valores mínimos de  $\alpha$  y  $\epsilon$ , por lo que su utilidad práctica se reduce a la posibilidad de realizar un tanteo dentro de los márgenes de variación de los distintos parámetros. Estas variaciones vienen, normalmente, fijadas por consideraciones comerciales (calidad, uso posterior, transporte, etc.).

Si se estudia de forma cualitativa la influencia de la presión sobre el tiempo total de filtrado, (ecuación 2-23), se observa que, sustituyendo  $\alpha$  por su dependencia de la presión, se llega a una ecuación del tipo:

$$t = f(\Delta P^{n-1}) \quad (6-21)$$

Dado que  $n$  (coeficiente de compresibilidad) toma siempre valores comprendidos entre 0 y 1, es evidente que, al ir aumentando  $P$ , disminuirá el tiempo total necesario para filtrar una barbotina. Por otro lado este aumento de presión se corresponde con una disminución en el valor de la porosidad, es decir en la humedad final de la torta. Por todo ello, la presión de trabajo vendrá fijada por la máxima que puede soportar el sistema.

El estudio queda reducido a la determinación de la granulometría óptima, intentando establecer un equilibrio entre el aumento de la humedad final y la disminución de la resistencia

que, en general, tiene lugar al aumentar el tiempo de molienda.

El problema se complica más todavía, si tenemos en cuenta que, como se vió en apartados anteriores, los dos parámetros granulométricos no son independientes en la práctica, sin que exista una clara relación analítica entre ellos.

Un posible camino de actuación sería establecer las variaciones granulométricas que permite el mercado, para una determinada barbotina. Estos márgenes suelen darse referidos a los tamaños máximos permisibles, puesto que la temperatura de cocción de las pastas disminuye con el tamaño de partícula.

Para las tres barbotinas estudiadas los márgenes fijados son los siguientes:

- para la feldespática y la porcelana el % de partículas menores que  $40 \mu\text{m}$  debe oscilar entre el 93 y el 97%.
- para la calcárea queda establecido entre el 94 y el 100%.

Como ejemplo de actuación se va a proceder a realizar un estudio general para la barbotina calcárea.

Se ha supuesto que la presión máxima de trabajo se sitúa en  $10,5 \text{ kg/cm}^2$ , valor muy utilizado en las industrias de esta zona.

Por otra parte las curvas granulométricas, correspondientes a esta barbotina, que proporcionan porcentajes de partículas menores que  $40 \mu\text{m}$ , dentro de los márgenes comerciales, son las correspondientes a las figuras 5.26 y 5.31. A partir de ellas pueden obtenerse los parámetros A y B, que junto con la presión de trabajo y las ecuaciones (6-19) y (6-20), permiten estimar la resistencia específica y porosidad de la torta en ambos casos. Los resultados se han recogido en la tabla 6.50.

TABLA 6.50.

Estimación de la resistencia y porosidad para un proceso industrial de filtrado. Barbotina calcárea

%	$40 \mu\text{m}$	$\alpha \cdot 10^{-12}$ (m/kg)	$\epsilon$	% humedad
93		16,1183	0,4190	21,20
97		9,7216	0,4847	25,98

Si con esos valores se aplica la ecuación (2-23), manteniendo todas las otras variables de filtración constantes, se obtiene que el tiempo necesario para que la primera muestra de lugar a una torta de una humedad dada es 1,66 veces mayor que el necesitado por la segunda. Por contra la primera puede llegar a producir una torta con un contenido en humedad más bajo.

La elección final deberá hacerse en base a estudios económicos que caen fuera de los límites establecidos para el presente trabajo.

En efecto, una humedad final más alta encarece el transporte de la torta hasta el lugar de consumo, mientras que al tratar de conseguir humedades bajas se aumenta la resistencia, dando lugar a un mayor consumo energético de la bomba y mayor duración de cada ciclo de filtrado.

## 7. CONCLUSIONES.

Como consecuencia del estudio realizado sobre la filtración a presión de tres barbotinas cerámicas se han deducido las conclusiones siguientes:

- 1 .- Los resultados obtenidos con el aparato denominado "célula de filtración a presión", fueron concordantes con la teoría ya publicada.
- 2 .- Se ha comprobado que los parámetros determinantes del proceso de filtración son composición, granulometría y presión.
- 3 .- Se ha encontrado que el parámetro que tiene mayor influencia en el proceso de filtración, es la composición mineralógica de la pasta cerámica.
- 4 .- No se ha podido cuantificar la influencia de la composición mineralógica en el proceso de filtración dado el gran número de factores que intervienen en el citado parámetro.
- 5 .- Se ha encontrado que la resistencia específica de la torta varía con la presión según una función de tipo potencial en la forma:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \Delta p^n$$

- 6 .- Se ha encontrado que la porosidad de la torta varía con la presión según una función de tipo exponencial en la forma:

$$\epsilon = \epsilon_0 \exp (n' \Delta P)$$

- 7 .- Se ha comprobado que el coeficiente de compresibilidad,  $n$ , puede considerarse constante e independiente de la granulometría para una barbotina dada.
- 8 .- Se ha comprobado que el parámetro  $n''$  puede considerarse constante e independiente de la granulometría, para una barbotina dada.
- 9 .- Se ha encontrado que la influencia de la granulometría sobre la resistencia específica de la torta puede considerarse reflejada exclusivamente en el parámetro  $\alpha_0$ .
- 10 .- Se ha encontrado que la influencia de la granulometría sobre la porosidad de la torta puede considerarse reflejada exclusivamente en el parámetro  $\epsilon_0$ .
- 11 .- Se ha encontrado que para la cuantificación de la influencia de la granulometría los parámetros más adecuados son:

- Tanto por 100 de partículas menores que  $15 \mu\text{m}$ : A

- Relación entre el diámetro correspondiente al 80% y el correspondiente al 46%, en la curva acumulativa de distribución granulométrica : B.

12 .- Se ha comprobado que la relación existente entre los parámetros  $\alpha_o$ , A y B es de la forma:

$$\alpha_o = a_o + a_1 A + a_2 B$$

13 .- Se ha comprobado que la relación existente entre los parámetros  $\epsilon_o$ , A y B es de la forma:

$$\epsilon_o = a'_o + a'_1 A + a'_2 B$$

14 .- Se han obtenido las ecuaciones que relacionan la resistencia específica y la porosidad de la torta con la presión y la granulometría.

15 .- Se ha comprobado la utilidad de estas ecuaciones para la predicción del comportamiento de estas barbotinas a escala industrial.

## 8. APENDICE.

### 8.1. APARATOS DETALLES Y ACCESORIOS.

#### 8.1.1. Filtro de vacio.

##### 8.1.1.1. Medida del volumen de filtrado.

El filtrado era recogido en una probeta de  $100 \text{ cm}^3$  de capacidad, graduada de manera que podía apreciarse hasta  $0,1 \text{ cm}^3$ .

Esta probeta estaba conectada por un lado al filtro y por otro a la bomba de vacio. Entre ella y la bomba se colocaban dos serpentines sumergidos en sendas camisas de hielo, para evitar el paso de líquido evaporado (dada la baja presión existente) de la probeta a la bomba.

En el instante en que caía la primera gota, se ponía el cronómetro en marcha tomándose medidas de tiempo cada  $2,5 \text{ cm}^3$ .

##### 8.1.1.2. Agitación de la barbotina.

La barbotina contenida en un tanque abierto de 10 ls. de capacidad se mantenía en suspensión durante el proceso, mediante un burbujeador de aire a presión situado en el fondo del tanque.

El aire era suministrado por un compresor marca Mercuri modelo W.J.R.

#### 8.1.1.3. Medida de la presión.

Para medir la presión reinante en el interior del sistema se utilizó un manómetro de vidrio en U de rama abierta que contenía mercurio como líquido manométrico.

#### 8.1.1.4. Características de la bomba de vacío.

Para provocar el vacío dentro del sistema se utilizó una bomba Torricelli, tipo 23-B. La regulación de este vacío se hacía mediante una llave de Mör, colocada en una desviación en T a la salida de la probeta.

#### 8.1.1.5. Medida de la humedad de la torta.

Una vez finalizado el experimento se sacaba el filtro del tanque y se dejaba escurrir toda la barbotina que sobrenadaba por encima de la torta.

A continuación se sacaba ésta del filtro y se procedía a la toma de dos muestras. La humedad se obtenía por diferencia de pesadas en húmedo y en seco, y se tomaba como valor definitivo la media de las dos. Para el secado de las muestras se utilizó una mufla P. Selecta modelo 210.

La dificultad en la delimitación de la torta y la barbotina llevaba a veces a obtener valores de humedad muy distintos entre sí. Con todo, debe tenerse en cuenta que este filtro sólo se utilizó para hacer un estudio previo del proceso.

### 8.1.2. Filtro de presión.

#### 8.1.2.1. Aparato.

A pesar de la aparente sencillez del filtro el sistema de acoplamiento de las distintas piezas que lo constituyen hubo de ser detenidamente estudiado para evitar pérdidas de barbotina a través de las juntas.

En la figura 8.1. se esquematiza el aparato mostrando las piezas que lo componen.

La parte inferior, 1, de forma troncocónica recoge el filtrado que atraviesa el medio filtrante y es vertido directamente en un matraz.

Sobre ella se coloca una junta de goma, 2, debidamente perforada para el paso de los tornillos. Luego se sitúa el soporte del medio filtrante, consistente en una placa metálica, 3, de 4 mm. de espesor, perforada con 414 orificios de 2 mm. de diámetro. Entre ésta y la tela filtrante, 5, para evitar posibles pérdidas, se colocan varias capas de papel de filtro, 4, impregnadas con grasa. Sobre ella va una nueva junta de goma, 6, y la parte central, 7, consistente en un cilindro de acero inoxidable de 15 cm. de diámetro y 20 cm. de altura. Entre esta parte central y la parte superior, 9, también hay una junta de goma, 8.

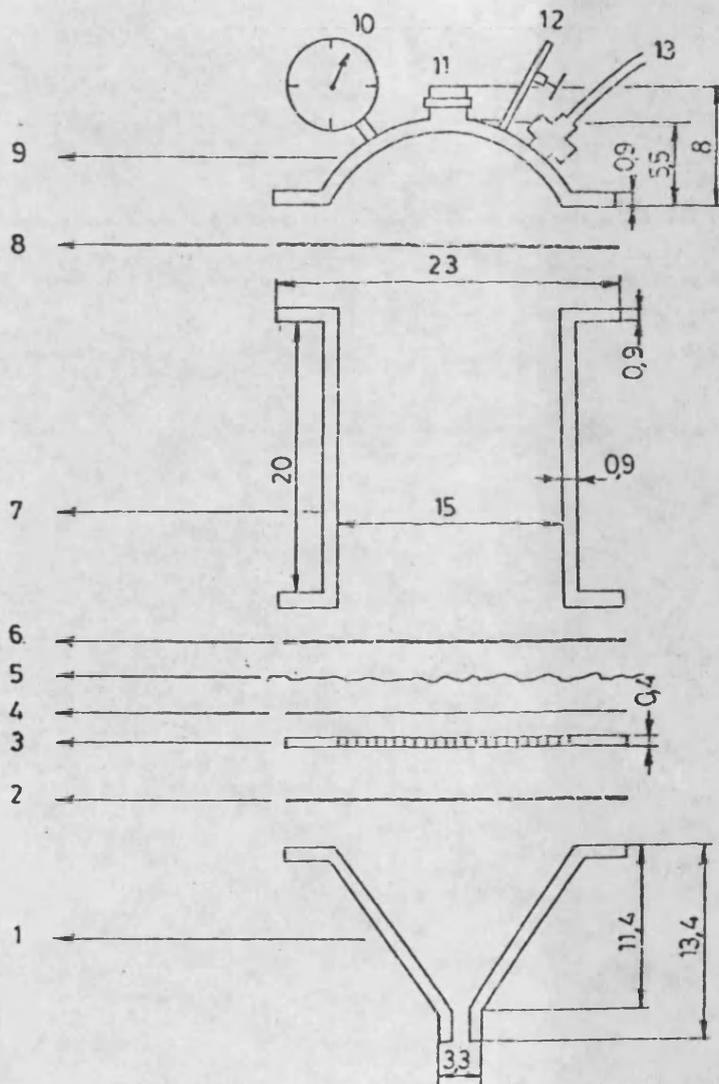


FIG. 8.1. ESQUEMA DEL APARATO

COTAS EN cm  
 ESCALA. 1:5

El montaje del aparato se realiza uniendo las piezas 1 a 7 mediante ocho tornillos con tuercas y las partes 7 a 9 de idéntica forma.

El cerrado del aparato y el mantenimiento de las juntas, tanto las de goma como las de papel, eran muy importantes, dadas las altas presiones a las que se trabajaba. En el momento en que pasaba algo de barbotina a las juntas, el cierre fallaba, se producían pérdidas importantes de barbotina y había que interrumpir el experimento.

El control de la presión se realizaba mediante un manómetro metálico, 10; dicha presión se mantenía mediante una conexión a un tubo de gas a presión, 13, existiendo una válvula de seguridad, 12.

#### 8.1.2.2. Llenado del aparato.

A fin de evitar la filtración por gravedad, el llenado del aparato se realizaba, una vez cerrado éste, por un orificio situado en la parte superior para este fin, 11. Una vez lleno se cerraba con una tapa roscada y se procedía a iniciar la filtración.

#### 8.1.2.3. Medida del volumen de filtrado.

El filtrado era recogido directamente en un matraz de 1,5 ls. de capacidad, situado sobre una balanza digital Mettler modelo P 1200, previamente tarada.

En el instante en que caía la primera gota se ponía en marcha el cronómetro realizándose la toma de medidas cada 20 cm<sup>3</sup> aproximadamente.

#### 8.1.2.4. Medida de la humedad de la torta.

La humedad de la torta se determinó, al igual que en el filtro a vacío, secando, hasta pesada constante, dos muestras de la torta obtenida y tomando como valor correcto la media aritmética de ambas.

#### 8.1.3. Accesorios.

Para la preparación de las barbotinas utilizadas se pasaba en primer lugar las materias primas a través de un molino de martillos marca M. Labrosa, tipo M.0. para obtener así un sólido más fino y homogéneo.

Las moliendas para la obtención de las distintas granulometrias se realizaron en dos molinos de bolas de porcelana, marca CEESA. Cada jarra tenía una capacidad de 3 lts. utilizándose bolas de alúmina de tres tamaños distintos.

Las determinaciones granulométricas de las distintas barbotinas obtenidas, se realizaron mediante una Pipeta de Andreasen fabricada por AFORA.

## 8.2. EJEMPLO DE CALCULO DE UN EXPERIMENTO.

Como ejemplo de los cálculos efectuados en cada experimento, se detallan a continuación todos los realizados en uno de ellos el correspondiente a la tabla 5.137, en la que se deseaba trabajar con los siguientes valores de las variables.

Barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

Presión:  $7,848 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Volumen inicial de barbotina: 1,4 l.

Previamente a la introducción de la barbotina en la célula de filtración, se procedió a su agitación, durante un tiempo superior a cinco minutos para la puesta en suspensión de los sólidos.

Una vez lleno y cerrado el aparato se abrió la llave de entrada del gas.

En el momento en que cayó la primera gota de filtrado en el matraz, que fué previamente tarado, se puso en marcha el cronómetro, tomándose medidas cada 20 gr. aproximadamente. El tiempo transcurrido desde la puesta en marcha del cronómetro y la obtención de la presión de trabajo fue de unos 10 s., totalmente despreciable para cálculos posteriores.

El filtrado recogido fue agua cuya densidad calculada una vez finalizada la filtración, se pudo tomar igual a 1 gr/cm<sup>3</sup>.

Se obtuvieron los datos que se detallan en la tabla 8.1 que se corresponde con los de la 5.137.

En ella se han dado únicamente treinta puntos por considerar que eran suficientes para representar perfectamente el experimento, aunque para los cálculos posteriores se ha trabajado con los correspondientes a la tabla 8.1. Así mismo, en la tabla 5.137, aparecen transformados a la forma  $t/V = f(V)$ , por medio de un programa, reseñado en el Apéndice 8.3.1. para calculadora HP 67/97. Estos puntos se ajustaron mediante el mismo programa anterior, a una recta, por el método de los mínimos cuadrados. Para la realización de dicho ajuste, no se utilizaron los cinco primeros valores dada la mayor dispersión observada para ellos en su representación gráfica, figura 8.2., que puede deberse a errores en el ajuste a las condiciones de operación.

El valor de la pendiente obtenido fué:

$$a = 0,0131 \cdot 10^{12} \text{ s/m}^6$$

El final de la filtración vino definido por el instante en que se produjo una grieta en la torta, al haberse depositado todo el sólido, provocando una caída en la presión. Inmediatamente se procedió a cerrar el tubo de nitrógeno y abrirse la válvula de seguridad.

TABLA 8.1.

Valores del peso de filtrado recogido en función del tiempo

P (gr)	t (min, s)	P (gr)	t (min, s)
255,0	0	711,4	51,00
280,7	0,30	733,2	55,45
299,7	1,00	756,3	61,00
322,8	1,45	778,5	66,15
344,5	2,45	798,6	71,30
372,8	4,20	821,4	77,00
393,3	5,45	842,1	82,30
415,6	7,30	863,2	88,15
438,5	9,30	883,3	94,00
459,0	11,30	904,3	100,00
482,1	14,00	925,0	106,15
503,6	16,30	949,3	113,45
525,0	19,15	969,5	120,00
545,2	22,00	990,1	127,00
566,2	25,00	1.012,4	134,30
587,4	28,15	1.033,7	142,00
607,9	31,30	1.059,2	151,10
628,4	35,00	1.080,5	159,00
649,3	38,45	1.101,9	167,00
670,8	42,45	1.122,1	175,00
690,7	46,45	1.142,1	183,45

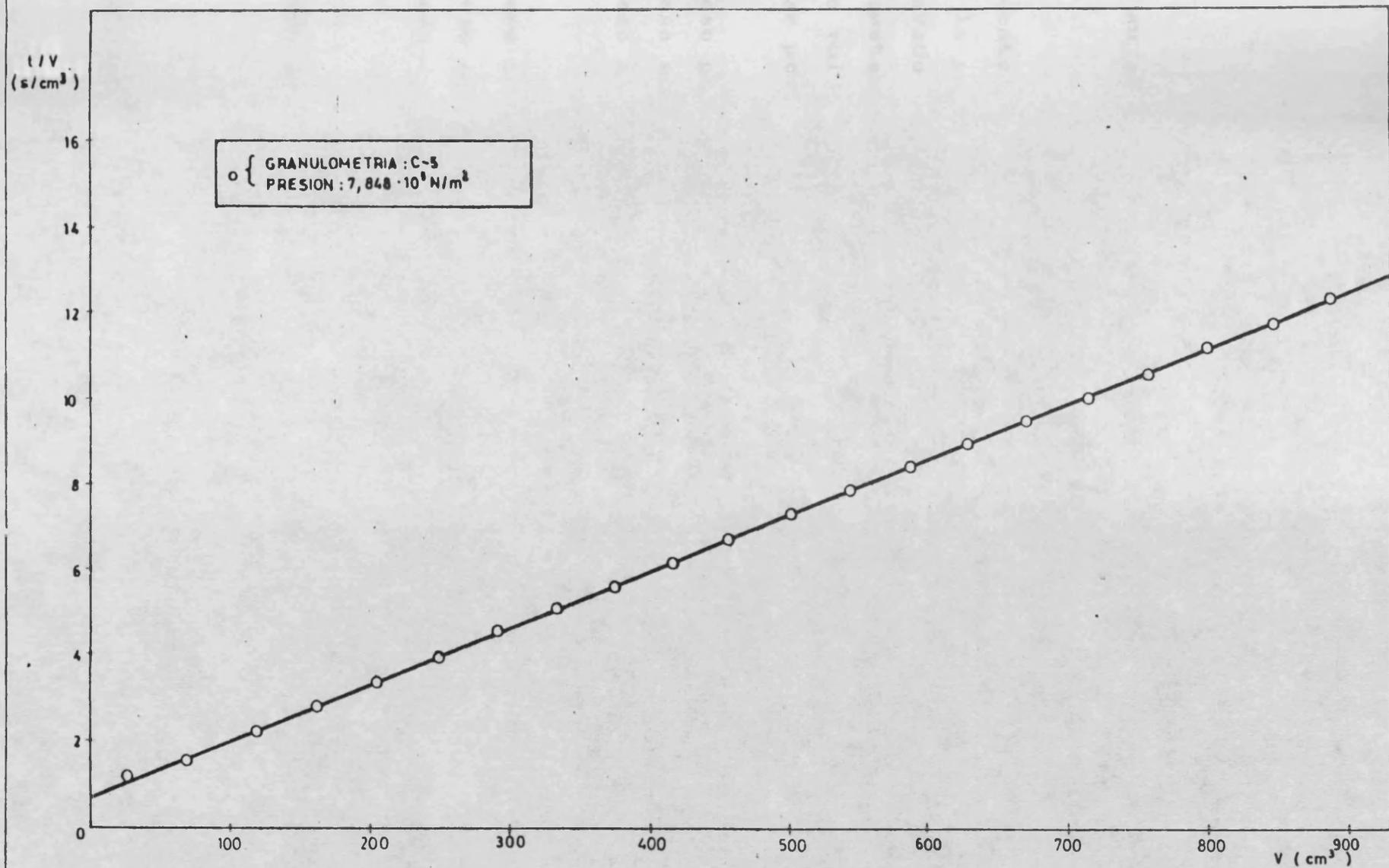


FIG. 8.2. Variación del cociente  $t/V$  con el volumen filtrado. Barbotina calcárea.

Una vez quitada la presión dentro del aparato se procedió a su apertura, para extraer la torta.

La humedad final de la torta se determinó tomando dos muestras de ella, lo más representativas posible. Se procedió a la pesada de cada muestra en un pesasustancias previamente lavado y secado. Se llevaron a la estufa a  $104^{\circ}\text{C}$ , hasta pesada constante (unas 20 hr). Después se enfriaron en el desecador y se volvieron a pesar en la balanza analítica. Los valores de estas pesadas fueron:

Peso pesasustancias =  $P_1$  = 22,7329 gr.  
 Peso muestra húmeda =  $P_2$  = 50,7532 gr.  
 Peso muestra seca =  $P_3$  = 43,8995 gr.

Peso pesasustancias =  $P'_1$  = 21,7671 gr.  
 Peso muestra húmeda =  $P'_2$  = 51,3921 gr.  
 Peso muestra húmeda =  $P'_3$  = 44,1283 gr.

El valor de  $M$  (Kg. torta húmeda/kg. torta seca) viene dado por:

$$M = \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1}$$

obteniéndose en el primer caso

$M = 1,3238$  kg. torta húmeda/kg. torta seca y en

el segundo:

$M = 1,3248$  kg. torta húmeda/kg. torta seca. Se

tomó como valor correcto de la humedad, su media:

$M = 1,3243$  kg. torta húmeda/kg. torta seca

Para calcular la densidad de la suspensión alimento se utilizó un matraz aforado en el que se obtiene el valor de la densidad dividiendo la diferencia de pasadas (aforado lleno - aforado va cío) por el volumen del matraz. En este caso se obtuvo:

Peso matraz aforado vacío = 19,6867 gr.

Peso matraz aforado lleno = 51,4142 gr.

Volumen matraz aforado = 25,00 cm<sup>3</sup>.

Densidad de la suspensión  $\rho_a = 1,2691$  gr/cm<sup>3</sup>

El cálculo de la concentración inicial de sólidos se hizo pesando dos muestras, en sendos pesasustancias, previamente lavados, secados y tarados; secándolos a 104<sup>o</sup> C hasta pesada cons tante, enfriando los pesasustancias en un desecador y volviéndolos a pesar en la balanza analítica. Estos valores fueron:

Peso pesasustancias =  $P_4 = 43,0607$  gr.

Peso muestra húmeda =  $P_5 = 79,2588$  gr.

Peso muestra seca =  $P_6 = 55,3670$  gr.

Peso pesasustancias =  $P'_4$  = 28,3396 gr.  
 Peso muestra húmeda =  $P'_5$  = 51,2932 gr.  
 Peso muestra seca =  $P'_6$  = 36,1486 gr.

El valor de la concentración puede calcularse por:

$$x = \frac{P_6 - P_4}{P_5 - P_4}$$

obteniéndose en el primer caso.

$x = 0,3400$  kg. sólido/kg. suspensión, y en el segundo

$x = 0,3402$  kg. sólido/kg. suspensión, siendo su valor

medio

$x = 0,3401$  kg. sólido/kg. suspensión.

La densidad del sólido se calculaba, una vez conocidas la densidad de la suspensión y su contenido inicial en sólidos, mediante la ecuación

$$\rho_s = \frac{\rho_a x}{1 - \rho_a (1 - x)} \quad (8-1)$$

obteniéndose para este caso un valor de

$$\rho_s = 2,6558 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

El valor de la densidad del sólido, utilizado para el cálculo de la porosidad mediante la ecuación (6-3) fue la media aritmética de su valor calculado para todos los experimentos realizados con esta barbotina, que resultó ser

$$\rho_s = 2,6808 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

sustituyendo en la ecuación (6-3) los valores correspondientes a este caso:

$$\epsilon = \frac{\left(\frac{1}{M} - 1\right) \rho_s}{\frac{1}{M} (\rho_s - 1) - \rho_s} = 0,4651 \frac{\text{volumen vacío}}{\text{volumen total}}$$

Para el cálculo de la resistencia específica de la torta a partir del valor de la pendiente de la recta  $t/V = f(V)$  se necesitaba conocer además:

$$S : \text{Area del filtro} = \frac{\pi}{4} 0,15^2 = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$\mu : \text{Viscosidad del filtrado} = 10^{-3} \text{ kg/m}.$$

$$\rho : \text{densidad del filtrado} = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Con todos estos valores y los de  $a$ ,  $M$  y  $x$ , despejando  $\alpha$ , en la ecuación (2-25) se obtuvo para la resistencia específica un valor de

$$\alpha = \frac{(1 - Mx) 2S^2 \Delta P}{\mu \rho} \cdot a = 10,3741 \cdot 10^{12} \text{ m/kg}.$$

Estos valores de  $\alpha$  y  $\epsilon$  son los que aparecen en la tabla 6.30.

### 8.3. PROGRAMAS DE CALCULO UTILIZADOS.

#### 8.3.1. Ajuste por mínimos cuadrados de la recta $t/V$ frente a $V$ .

Este programa realiza en primer lugar una transformación de los datos experimentales. El tiempo se introduce en la forma minutos . segundos y el volumen como peso de agua recogida más la tara. El programa proporciona el tiempo en segundos, el volumen en  $\text{cm}^3$  y el cociente  $t/V$  en  $\text{s}/\text{cm}^3$ .

En segundo lugar realiza el ajuste por mínimos cuadrados de los puntos, a una recta, obteniéndose el valor de la pendiente en  $\text{s}/\text{cm}^6$  y el de la ordenada en el origen en  $\text{s}/\text{cm}^3$ .

Las ecuaciones empleadas fueron:

$$y = a_1 x + a_0$$

$$a_1 = \frac{\sum x y - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

donde  $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

siendo  $y = \frac{t}{V}$  y  $x = V$

La utilización del programa se detalla a continuación:

- 1 .- Introducción en la memoria C el valor de la tara en gramos.
- 2 .- Teclear el tiempo en la forma minutos . segundo.
- 3 .- Teclear ENTER
- 4 .- Teclear el peso en gramos
- 5 .- Teclear A
- 6 .- En pantalla aparece durante 5 segundos el volumen en  $\text{cm}^3$
- 7 .- En pantalla aparece durante 5 segundos el tiempo en segundos
- 8 .- En pantalla aparece durante 5 segundos el cociente  $t/V$

Los pasos 2 a 8 se repiten mientras se desee introducir nuevos puntos.

Una vez introducidos todos se pasa a la fase siguiente:

- 9) .- Teclar C
- 10) .- En pantalla aparece durante 5 segundos el valor de la pendiente en  $s/cm^6$
- 11) .- En pantalla aparece durante 5 segundos el valor de la ordenada en el origen en  $s/cm^3$ .

En el caso de que se desee borrar la última pareja intrroducida basta teclear D.

Es posible, también, ir obteniendo sucesivos valores de la pendiente y la ordenada en el origen, con cada nueva pareja de valores introducida.

El listado del programa se detalla en la tabla 8.2.

### 8.3.2. Ajuste por mínimos cuadrados a una función lineal multiparamétrica.

Este programa se ha utilizado tanto para ajustar  $\alpha_0$ , como  $\epsilon_0$  y con parámetros A y B a una función del tipo:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

Donde y es identificada como  $\alpha_0$  y  $\epsilon_0$  alternativa-mente,  $x_1$  como A,  $1/A$  y  $\ln A$  y  $x_2$  con B y  $\ln B$ , com- binándolas entre sí de todas las formas posibles obteniendose la serie de ecuaciones (6-8).

TABLA 8.2.

001	*LELA	21 11	054	FDL6	35 00
002	STDA	35 11	055	ROLE	36 05
003	F4	-31	056	X	-35
004	STOE	35 12	057	FDL8	36 08
005	RCLA	36 11	058	ROL1	36 01
006	RCLC	36 13	059	X	-35
007	-	-45	060	-	-45
008	STDA	35 11	061	FDL6	36 00
009	PSE	16 51	062	ROL2	36 02
010	PSE	16 51	063	X	-35
011	ROLB	36 12	064	ROL1	36 01
012	INT	16 34	065	X <sup>2</sup>	53
013	6	06	066	-	-45
014	0	00	067	=	-24
015	X	-35	068	STOE	35 15
016	ROLB	36 12	069	PSE	16 51
017	FRC	16 44	070	PSE	16 51
018	EEK	-23	071	ROLB	36 05
019	2	02	072	ROLE	36 15
020	X	-35	073	ROL1	36 01
021	+	-55	074	X	-35
022	STOE	35 12	075	-	-45
023	PSE	16 51	076	RCL0	36 00
024	PSE	16 51	077	+	-24
025	RCLA	36 11	078	PSE	16 51
026	=	-24	079	FTN	24
027	ST+0	35-55 00	080	*LELD	21 14
028	PSE	16 51	081	1	01
029	PSE	16 51	082	ST-0	35-45 00
030	1	01	083	RCLA	36 11
031	ST+0	35-55 00	084	ST-1	35-45 01
032	RCLA	36 11	085	X <sup>2</sup>	53
033	ST+1	35-55 01	086	ST-2	35-45 02
034	X <sup>2</sup>	53	087	RCLA	36 11
035	ST+2	35-55 02	088	X	-35
036	RCLA	36 11	089	ST-3	35-45 03
037	X	-35	090	RCLA	36 11
038	ST+3	35-55 03	091	X	-35
039	RCLA	36 11	092	ST-4	35-45 04
040	X	-35	093	ROLE	36 12
041	ST+4	35-55 04	094	ST-5	35-45 05
042	ROLE	36 12	095	RCLA	36 11
043	ST+5	35-55 05	096	X	-35
044	RCLA	36 11	097	ST-6	35-45 06
045	X	-35	098	RCLA	36 11
046	ST+6	35-55 06	099	X	-35
047	RCLA	36 11	100	ST-7	35-45 07
048	X <sup>2</sup>	53	101	ROLB	36 12
049	ROLE	36 12	102	RCLA	36 11
050	X	-35	103	+	-24
051	ST+7	35-55 07	104	ST-8	35-45 08
052	FTN	24	105	FTN	24
053	*LELC	21 17	106	F 8	51

La elección de la función a utilizar para  $x_1$  y  $x_2$  es realizada por el propio usuario en cada caso, introduciendo las sentencias correspondientes en las subrutinas de cálculo 1 y 2.

Para la obtención de los parámetros  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ , se tuvo que resolver el sistema, Carnahan (1969):

$$c_{11} a_1 + c_{12} a_2 = c_{1i}$$

$$c_{21} a_1 + c_{22} a_2 = c_{2i}$$

Donde

$$c_{11} = \sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n}$$

$$c_{12} = c_{21} = \sum x_1 x_2 - \frac{\sum x_1 \sum x_2}{n}$$

$$c_{22} = \sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n}$$

Resuelto el sistema puede obtenerse el valor de  $a_0$  mediante la expresión

$$a_0 = \bar{y} - (a_1 \bar{x}_1 + a_2 \bar{x}_2)$$

A continuación se detalla la utilización del programa.

En primer lugar hay que seleccionar las funciones de B y A que se van a utilizar. Dichas funciones deben introducirse como sentencias de programa en las subrutinas 1 y 2 respectivamente.

Una vez hecho esto, se siguen los pasos:

- 1 .- Teclar D, para borrar todos los registros
- 2 .- Introducir A
- 3 .- Teclar ENTER
- 4 .- Introducir B
- 5 .- Teclar ENTER
- 6 .- Introducir y
- 7 .- Teclar A

Los pasos 2 a 7 se repiten mientras se desee introducir nuevos puntos.

Una vez introducidos todos se pasa a la fase siguiente:

- 8 .- Teclar C
- 9 .- Aparece en pantalla, durante 5 segundos, el valor de  $a_0$
- 10 .- Aparece en pantalla durante 5 segundos el valor de  $a_2$
- 11 .- Aparece en pantalla durante 5 segundos el valor de  $a_1$

Si se desea suprimir algún punto introducido, se teclean las fases 2 a 6 y a continuación B. Para obtener el error relativo del valor teórico de  $\gamma$  respecto del valor experimental, se teclean las fases 2 a 6 y por último E. Este error relativo viene dado en %.

El listado del programa se detalla en la tabla 8.3.

### 8.3.3. Cálculo del error relativo de los resultados teóricos frente a los experimentales.

Este programa se ha utilizado para calcular el error relativo de los valores teóricos de la resistencia y porosidad de la torta respecto de los experimentales.

Los valores teóricos se obtuvieron utilizando las ecuaciones (6-15) a (6-20)

$$\alpha = (a_0 + a_1 A + a_2 B) \Delta P^n$$

$$\epsilon = (a'_0 + a'_1 A + a'_2 B) \exp(n' \Delta P)$$

A continuación se detalla la utilización del programa para cada barbotina.

1.- Introducir los coeficientes en las memorias según la tabla 8.4.

TABLA 8.3.

001	*LELA	21 11	048	ST-2	35-45 00
002	STOC	35 13	049	RCLC	36 13
003	RJ	-31	050	W	53
004	08B1	23 01	051	ST-3	35-45 00
005	STOB	35 12	052	RCL9	36 09
006	WY	-41	053	1	01
007	08B2	23 02	054	+	-55
008	STOR	35 11	055	F28	16-51
009	WY	-41	056	FTN	24
010	2+	56	057	*LELC	21 13
011	F28	16-51	058	F28	16-51
012	RCLC	36 13	059	RCL5	36 05
013	ST+0	35-55 00	060	RCL4	36 04
014	RCLB	36 12	061	W	53
015	1 x	-35	062	RCL9	36 09
016	ST+1	35-55 01	063	=	-24
017	RCLC	36 13	064	-	-45
018	RCLA	36 11	065	STOA	35 11
019	x	-35	066	RCL8	36 08
020	ST+2	35-55 02	067	RCL4	36 04
021	RCLC	36 13	068	RCL6	36 06
022	W	53	069	x	-35
023	ST+3	35-55 03	070	RCL9	36 09
024	RCL5	36 09	071	=	-24
025	1	01	072	-	-45
026	+	-55	073	STOB	35 12
027	F28	16-51	074	RCL7	36 07
028	FTN	24	075	RCL6	36 06
029	*LELB	21 12	076	W	53
030	STOC	35 13	077	RCL9	36 09
031	RJ	-31	078	=	-24
032	08B1	23 01	079	-	-45
033	STOB	35 12	080	STOC	35 13
034	WY	-41	081	RCLA	36 11
035	08B2	23 02	082	x	-35
036	STOR	35 11	083	RCLB	36 12
037	WY	-41	084	W	53
038	2-	16 55	085	-	-45
039	F28	16-51	086	STOE	35 15
040	RCLC	36 13	087	F28	16-51
041	ST-0	35-45 00	088	RCLC	36 13
042	RCL5	36 12	089	RCL6	36 15
043	x	-35	090	=	-24
044	ST-1	35-45 01	091	STOC	35 00
045	RCLC	36 13	092	RCL6	36 12
046	RCLA	36 11	093	RCL6	36 15
047	x	-35	094	=	-24

TABLA 8.3. (Cont.)

142	RCLC	36 13	095	CHS	-22
143	X	-35	096	STO1	35 01
144	-	-45	097	RCLA	36 11
145	RCL9	36 09	098	RCLC	36 15
146	÷	-24	099	÷	-24
147	STO4	35 11	100	STO2	35 02
148	F2S	16-51	101	F2S	16-51
149	PRTX	-14	102	RCL1	36 01
150	RCLB	36 12	103	RCL4	36 04
151	PRTX	-14	104	RCL6	36 06
152	RCLC	36 13	105	X	-35
153	RTN	24	106	RCL9	36 09
154	PRTX	-14	107	÷	-24
155	F2S	16-51	108	-	-45
156	*LELD	21 14	109	STOD	35 14
157	CLRG	16-53	110	RCL2	36 02
158	F2S	16-51	111	RCL6	36 06
159	CLRG	16-53	112	RCL6	36 06
160	F2S	16-51	113	÷	-35
161	1	01	114	RCL9	36 09
162	RTN	24	115	÷	-24
163	*LELE	21 15	116	-	-45
164	STOD	35 14	117	STOE	35 15
165	R4	-31	118	F2S	16-51
166	GSB1	23 01	119	RCL6	36 06
167	RCLB	36 12	120	RCLD	36 14
168	X	-35	121	X	-35
169	X2Y	-41	122	RCL1	36 01
170	GSB2	23 02	123	RCLC	36 15
171	RCLC	36 13	124	X	-35
172	X	-35	125	÷	-55
173	+	-55	126	STOB	35 12
174	RCLA	36 11	127	RCL1	36 01
175	+	-55	128	RCLD	36 14
176	RCLD	36 14	129	X	-35
177	-	-45	130	RCL2	36 02
178	RCLD	36 14	131	RCLC	36 15
179	÷	-24	132	X	-35
180	EEY	-23	133	+	-55
181	2	02	134	STOC	35 13
182	X	-35	135	F2S	16-51
183	RTN	24	136	RCL6	36 06
184	*LEL1	21 01	137	RCL4	36 04
185	RTN	24	138	RCLB	36 12
186	*LEL2	21 02	139	X	-35
187	RTN	24	140	-	-45
188	R2S	51	141	RCL6	36 06

TABLA 8.4.

Memoria	Coeficiente	Memoria	Coeficiente
0	$a_0$	5	$a'_2$
1	$a_2$	6	$a_1$
2	$a_1$	7	$n'$
3	$n$	9	100
4	$a'_0$		

2 .- Teclar el parámetro A

3 .- Teclar ENTER

4 .- Teclar el parámetro B

5 .- Teclar A

Los pasos 2 a 5 no se repiten hasta que se inicie el cálculo de puntos correspondientes a una nueva granulometría.

6 .- Teclar  $\Delta P$

7 .- Teclar ENTER

8 .- Teclar  $\alpha$

9 .- Teclar ENTER

10 .- Teclar  $\epsilon$

11 .- Teclar B

12 .- En pantalla aparece durante 5 segundos el error relativo de

13 .- En pantalla aparece durante 5 segundos el error relativo de

El listado de este programa puede verse en la tabla 8.5.

#### 8.4. COMPARACION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y LOS CALCULADOS CON LAS ECUACIONES (6-15) a (6-20).

Los errores relativos de los valores teóricos con respecto a los experimentales, calculados mediante el programa, descrito en el apartado anterior se detallan para la barbotina feldespática II, en las tablas 8.6 a 8.12, para la barbotina porcelana en las tablas 8.13 a 8.19 y para la barbotina cal cárea en las tablas 8.20 a 8.26.

#### 8.5. LOCALIZACION DE LOS DATOS EXPERIMENTALES.

Los datos experimentales correspondientes a todo el presente trabajo se hallan depositados en el Departamento de Química Técnica de la Facultad de Químicas de la Universidad de Valencia.

TABLE 8.5.

001	4LELA	21 11
002	STOE	35 12
003	XZY	-41
004	STOA	35 11
005	RTH	24
006	4LELB	21 12
007	STOD	35 14
008	FV	-31
009	STOC	35 13
010	FV	-31
011	STOE	35 15
012	FOLA	36 11
013	FOLA	36 02
014	X	-35
015	RCL1	36 01
016	RCLB	36 12
017	X	-35
018	+	-55
019	RCLC	36 00
020	+	-55
021	RCLB	36 15
022	RCL3	36 03
023	Y*	31
024	X	-35
025	RCLC	36 13
026	-	-45
027	RCLC	36 13
028	=	-24
029	RCL9	36 09
030	X	-35
031	STOB	35 08
032	FOLA	36 11
033	RCLB	36 06
034	X	-35
035	RCLB	36 12
036	RCL5	36 05
037	X	-35
038	+	-55
039	FOLA	36 04
040	+	-55
041	RCLB	36 15
042	RCL7	36 07
043	X	-35
044	e*	33
045	X	-35
046	RCLD	36 14
047	-	-45
048	RCLD	36 14
049	=	-24
050	RCL9	36 09
051	X	-35
052	RCL8	36 08
053	PRTX	-14
054	XZY	-41
055	PRTX	-14
056	RTH	24
057	PIS	51

TABLA 8.6.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16).

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-1

$$A = 56$$

$$B = 5,35$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
2,943	-9,83	1,19
4,905	-8,65	1,63
6,867	-10,33	1,99
8,829	-10,43	4,64
10,791	-9,48	3,67

TABLA 8.7.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16).

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-2

$$A = 59$$

$$B = 5,07$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	9,45	-0,08
6,867	7,82	1,65
7,848	10,51	0,99
9,810	15,82	1,24
12,753	6,54	1,00

TABLA 8.8.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16)

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-3

$$A = 66,6$$

$$B = 4,10$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	2,85	0,11
6,867	2,75	0,65
7,848	1,73	-0,29
9,810	4,53	-0,29
12,753	2,20	-1,18

TABLA 8.9.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16)

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-4

$$A = 69,5$$

$$B = 3,76$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	-2,98	-1,62
7,848	2,92	-2,00
9,810	-3,56	-0,01
12,753	-1,93	-1,53

TABLA 8.10.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16)

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-5

$$A = 79,5$$

$$B = 3,52$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	7,14	-0,73
7,848	8,55	-1,19
9,810	5,45	-0,34
12,753	8,72	-1,12

TABLA 8.11.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16)

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-6

$$A = 83,5$$

$$B = 2,97$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	3,43	0,50
7,848	3,64	0,22
9,810	-1,84	-0,98
12,753	-3,21	-2,95

TABLA 8.12.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-15) y (6-16)

Tipo de barbotina: Feldespática II

Granulometría: F-7

$$A = 90,5$$

$$B = 2,95$$

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$E_{\alpha}$ (%)	$E_{\epsilon}$ (%)
4,905	-7,85	-1,49
7,848	-1,32	-1,61
9,810	-5,09	-1,68
12,753	-8,44	-2,03

TABLA 8.13.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-1

$$A = 68$$

$$B = 4,55$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	2,30	-0,93
6,867	4,46	-0,45
8,829	3,56	-1,37
10,791	3,60	-0,48
12,753	2,61	-1,29

TABLA 8.14.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-2

$$A = 70$$

$$B = 4,20$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)} $	$E_{\epsilon} \text{ (\%)} $
2,943	0,96	-0,91
4,905	-1,48	0,12
6,867	-0,52	0,47
8,829	-2,05	-0,05
11,772	1,29	-0,23
12,753	0,32	-0,68

TABLA 8.15.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-3

$$A = 70$$

$$B = 4,41$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)} $	$E_{\epsilon} \text{ (\%)} $
5,886	2,65	0,44
7,848	5,11	0,54
9,810	6,15	0,07
11,772	5,86	0,75
12,753	1,32	0,21

TABLA 8.16.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-4

$$A = 73$$

$$B = 4,08$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
5,886	7,46	-0,17
7,848	5,73	-0,49
9,810	6,48	-0,41
11,772	8,56	-1,39
12,753	6,36	-1,86

TABLA 8.17.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-5

$$A = 75$$

$$B = 3,82$$

$\Delta P \cdot 10^{-5}$ (N/m <sup>2</sup> )	$E_{\alpha}$ (%)	$E_{\epsilon}$ (%)
4,905	-2,29	-1,30
6,867	11,06	-1,96
8,829	4,47	-0,29
10,791	2,07	-0,82
12,753	0,52	-1,57

TABLA 8.18.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-6

$$A = 79$$

$$B = 3,63$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	-6,44	1,38
6,867	-4,97	1,07
9,810	-6,01	2,64
12,753	-6,72	1,52

TABLA 8.19.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-17) y (6-18)

Tipo de barbotina: Porcelana

Granulometría: P-7

$$A = 83$$

$$B = 3,61$$

$\Delta P. 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)} $	$E_{\epsilon} \text{ (\%)} $
5,886	-9,85	-0,03
7,848	-8,93	1,75
9,810	-11,34	1,48
11,772	-10,23	1,68
12,753	-9,57	1,62

TABLA 8.20.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-1

$$A = 77$$

$$B = 5,45$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
5,886	9,91	-0,70
7,848	4,14	0,14
9,810	12,42	-0,59
11,772	11,62	-0,82
12,753	5,68	-1,15

TABLA 8.21.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-2

$$A = 78$$

$$B = 5,33$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)} $	$E_{\epsilon} \text{ (\%)} $
4,905	10,99	-1,40
7,848	11,78	0,01
9,810	12,24	-0,82
11,772	11,18	-1,33

TABLA 8.22.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-3

$$A = 80,5$$

$$B = 4,39$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
5,886	0,07	-0,43
7,848	2,41	-0,64
9,810	3,45	1,73
12,753	0,05	0,94



TABLA 8.23.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados  
mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-4

$$A = 84$$

$$B = 3,79$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
5,886	-2,27	2,40
7,848	-2,48	4,63
9,810	-5,54	3,66
11,772	2,10	2,69
12,753	-5,39	2,87

TABLA 8.24.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-5

$$A = 89,5$$

$$B = 4,10$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	-3,15	3,43
5,886	-10,37	4,12
7,848	-7,52	3,10
9,810	-1,29	2,47
12,753	-8,69	1,28

TABLA 8.25.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-6

$$A = 91$$

$$B = 4,00$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)} $	$E_{\epsilon} \text{ (\%)} $
5,886	-5,88	-0,72
7,848	-6,45	0,84
9,810	-5,52	2,20
12,753	-6,56	1,32

TABLA 8.26.

Comparación entre los valores experimentales y los calculados mediante las ecuaciones (6-19) y (6-20)

Tipo de barbotina: Calcárea

Granulometría: C-7

$$A = 92,5$$

$$B = 3,81$$

$\Delta P \cdot 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$E_{\alpha} \text{ (\%)}$	$E_{\epsilon} \text{ (\%)}$
4,905	-5,58	-0,07
7,848	0,13	3,59
9,810	-3,19	2,66
11,772	-6,25	0,90

NOMENCLATURA

a	Constante de la ecuación (2-24)
$a_0$	Constante de las ecuaciones (6-8)
$a_1$	Constante de las ecuaciones (6-8)
$a_2$	Constante de las ecuaciones (6-8)
A	Porcentaje de partículas menores que 15 $\mu\text{m}$ .
b	Constante de la ecuación (2-24)
B	Relación entre el diámetro correspondiente al 86% y el correspondiente al 40%, en una representación granulométrica acumulada.
c	Masa de sólido seco/unidad de volumen de filtrado, $\text{kg/m}^3$
$c_1$	Constante de la ecuación (2-4)
$c_2$	Constante de la ecuación (2-4)
E	Error relativo de la resistencia específica, %
E	Error relativo de la porosidad, %
$E_{\text{máx}}$	Error relativo máximo, %
$E_{\text{med}}$	Error relativo medio, %
J	Relación $\alpha_T / \alpha$
K	Constante de Darcy, ecuación (2-5), $\text{m}^2$
$K_1$	Constante de la ecuación (2-30)
$K_2$	Constante de la ecuación (2-30)
m	Constante de la ecuación (2-3)
M	Masa de torta húmeda/masa de torta seca
n	Coefficiente de compresibilidad
$n'$	Constante de la ecuación (6-6)
$\Delta P$	Presión total del sistema, $\text{N/m}^2$

$P_1$	Presión en la interfase medio-torta, $N/m^2$
$P_f$	Presión hidráulica, $N/m^2$
$P_s$	Presión efectiva, $N/m^2$
$q$	Densidad de flujo del líquido, $m^3/m^2 \cdot s$
$q_i$	Densidad de flujo del líquido en la interfase medio-torta $m^3/m^2 \cdot s$
$q_y$	Densidad de flujo del líquido a la distancia y desde el medio, $m^3/m^2 \cdot s$
$Q$	Valor constante de $q$ , en la ecuación (2-27), $m^3/m^2 \cdot s$
$r$	Resistencia específica puntual para la unidad de presión aplicada. Constante de la ecuación (2-10)
$R_m$	Resistencia del medio, $m^{-1}$
$R_t$	Resistencia total de la torta, $m^{-1}$
$s$	Desviación típica del error relativo, %
$S$	Sección del filtro, normal a la dirección de filtrado, $m^2$
$t$	Tiempo, s
$t_o$	Tiempo de filtración a presión variable, s
$V$	Volumen de filtrado, $m^3$
$w$	Masa de sólido seco depositado por unidad de área, $kg/m^2$
$w_y$	Valor de $w$ a la distancia y desde el medio, $kg/m^2$
$x$	Concentración inicial de sólidos, kg. sólidos/ kg. sus- pensión.
$y$	Distancia dentro de la torta medida desde el medio, m

## Letras Griegas.

$\alpha$	Resistencia específica de la torta, m/kg
$\alpha_o$	Resistencia específica de la torta para la unidad de presión aplicada. Constante de la ecuación (2-11)
$\alpha_T$	Nueva definición de resistencia a la filtración dada por la ecuación (2-12), m/kg.
$\alpha_y$	Valor puntual de la resistencia específica
$\epsilon$	Porosidad
$\epsilon_o$	Porosidad para la unidad de presión aplicada. Constante de la ecuación (2-3)
$\mu$	Viscosidad, kg/m.s
$\rho$	Densidad del filtrado, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_a$	Densidad de la suspensión alimento, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Densidad del sólido, kg/m <sup>3</sup> .

BIBLIOGRAFIA

- Bednarczyk, K.; "Filtration Using Domestic and Foreign Filtered Aids". Pr. Nauk. Inst. Inz. Chem. Urzadzen Ciepnych Politech. Wroclaw. 25, 279-91 (1974).
- Berndt, R.; Heiderreich, E., Tittel, R.; "Determination of the Pressure Loss in Filter Media"; Chem. Tech. (Leipzig) 25 (11), 692-3 (1974).
- Blackadder, D.A. and Nedderman, R.M.; "A Handbook of Unit Operations". Academic Press, London (1971).
- Brociner, R.E.; "Filtration of English China Clay". Silicater Industr., 29, (9), 353-362 (1963).
- Carnahan, B.; Luther, H.A.; Wilker, J.O.; "Applied Numerical Methods", John Wiley and Sons, Inc. London (1969).
- Cassel, A.F.; Iwata, N.; "Operation of a Pilot-Scale Diaphragm Type Filter Press"; Sludge Manage. Disposal Util., Proc. Natl. Conf. 3rd. (1976).
- Dahlstrom, D.A.; "Predicting Performance of Continuous Filters". C.E.P. 69-74, March (1978).

- Edmondson, B.R.; Brooks, D.R.; "The Membrana Filter Plate".  
Water Serv. 81 (1975), 272, 274-8 (1977).
- Ermakov, I.S.; Meshengisser, M. Ya.; "Automatic Filter Press  
PPAKM". Chem. Tech. (Leipzig), 26 (1), 32-3 (1974).
- Espinosa de los Monteros, J.; "Características y Aplicación  
de Materias Primas para Cerámica". Bol. Soc. Esp.  
Ceram. Vidr. 18 (4), 243-9 (1979).
- Grace, H.P.; "Resistance and Compressibility of Filter Cakes".  
Chem. Eng. Progr. 49, 303-367 y 427 (1953).
- Grace, H.P.; "Structure and Performance of Filter Media".  
A.I.Ch.E. J. 2, 307-316 (1956).
- Gwilliam, R.D.; "E.C.C. Tube Filter Press". Silicates Industr.,  
37, 2, 37-47 (1972).
- Haecker, K.; "Reinforced Plastic Filter Plates". Ger Offen.  
2, 134, 697 (Cl. B 01 d), 25 Jan (1973).
- Haver, E.F.; "Chamber Filter Press". Ger. Offen. 2, 238, 785  
(Cl. C 02 c), 2 Jan (1975).
- Heertjes, P.M. and Zuideveld, P.L.; "Clarification of Liquids  
Using Filter Aid. Part I. Mechanisms of Filtration".  
Powder Technol., 19 (1), 17-30 (1978 a).

- Heertjes, P.M. and Zuideveld, P.L.; "Clarification of Liquids Using Filter Aids. Part. II. Depth Filtration". Powder Technol. 19 (1), 31-43 (1978 b)
- Heertjes, P.M. and Zuideveld, P.L.; "Clarification of Liquids Using Filter Aids. Part III. Cake Resistance in Surface Filtration". Powder Technol. 19 (1), 45-64 (1978 c).
- Heimbach, F.; Schotten, A.; "Pressing Membranes for Plate Filter Presses". Ger. Offen. 2, 322, 044 (Cl. B 01 d), 21 Nov. (1974).
- Ingmanson, W.L.; "Water Removal from Pulp Slurries". Chem. Eng. Progr. 49, 577 (1953).
- Jimenez Salas, J.A.; de Justo, J.L.; "Geotecnia y Cimientos". Ed. Rueda, Madrid (1975).
- Joo, G.; "Simulation of the Filtration of Compressible Cakes". Chem. Tech. (Leipzig) 25, (12), 726-9 (1973).
- Jordan, D.G.; "Chemical Process Development. II". Interscience Publishers, New York (1968).
- Kenyon, J.; Reid, D.A.; "Method of and Apparatus for Filtration"; Brit. 1, 503, 486 (Cl. B 01 D 25/12) 08 March (1978).

Khromykh, V.F.; Soroka, A.S.; Perminov, P.S.; "Characteristics of Auxiliary Filtering Substances Used for Purification of Additives". Nefte. pererab. Neftekhim. (Vses. Ob'edin. "Neftekhim") 5, 132-7 (1973).

Kolfmar, U.; "Filter Press". Ger. Offen. 2, 256, 735 (Cl. B 01 d), 06 Jun (1974).

Kottwitz, F.A. and Boyland, D.B.; "Resistance in Constant Pressure Cake Filtration". A.I. Ch. E. J. 4, 175 (1958).

Leonard, J.I. and Brenen, H.; "Experimental Studies of Three dimensional Filtration on a Circular Leaf". A.I.Ch.E. J. 11, 965 (1965).

Loeffler, K.W.; "Filter Frame". Ger. Offen. 2, 310, 708 (Cl. 3 01 d), 12 Sep. (1974).

Machej, J.; Gwordz, M.; "Determination of the Durability and Resistance of Filter Cloths". Inz. Chem. 3 (1), 151-65 (1973).

McCabe, W.L. and Smith, J.C.; "Operaciones Básicas de Ingeniería Química. II." Ed. Reverté, Barcelona (1969).

Mirokhin, A.M.; Katarov, V.V.; Dorokhov, I.N.; Shmelev, S.L.; "Laboratory Apparatus and Method for Recording the Parameters of Filtration with Cake Formation under Vacuum". Izv. Vyssh. Uchebn. Zared., Khim. Khim. Tekhnol. 20 (8), 1228-32 (1977).

Perry, J.H. "Chemical Engineers' Handbook". 4 th ed.; McGraw-Hill, New York (1963).

Piñeiro, S.; "Los Sectores del Vidrio y Cerámica en España". Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 18 (3), 171-181 (1979).

Purchas, D.B.; "Filtration Theory can be useful". Chemical Products, 20, 149-151 (1957).

Purchas, D.B.; "Cake Filter Testing and Sizing. Standardized Procedure". Filtr. Separ., 9 (2), 161-71 (1972).

Ramsteck, W.; "Chamber Filter Plate". Ger. Offen, 2, 323, 516 (Cl. B 01 d), 21 Nov (1974).

Rico, A.; Olmos, E. y Redondo, F.; "Informe - Estudio sobre el Sector de Cerámica y Azulejo en la Zona Española". Zaragoza 4 Oct. (1973).

Rüb, F., "Filter Presses for the Ceramic Industry". Keram. Z., 20 (2), 79-82 (1968).

Ruth, B.F.; Ind. Eng. Chem., 25, 153 (1933).

Ruth, B.F.; "Correlating Filtration Theory with Industrial Practice". Ind. Eng. Chem. 38, 564 (1946).

Sayers, I.C.; Barlow, G.; "Woven or Needled Fabrics". Chem. Process. (London), 20 (1), 71, 73, 74 (1974).

- Scharsig, R.; "Chamber Filter Presses in Chemical industry".  
Gem. Ind.(Diusseldorf), 27 (11), 681-4 (1975).
- Shirato, M. and Okamura, S.; "Liquid Pressure distribution within Cake in Constant Pressure Filtration". Chem. Eng. (Japan) 19, 104, 111 (1955).
- Shirato, M. and Okamura, S.; "Filtration and the aging of the Spark - plug Slurries". Chem. Eng. (Japan) 20, 98, 678 (1956).
- Shirato, M. and Okamura, S.; "Behaviors of Kaolin Slurries in Constant - Pressure Filtration". Chem. Eng. (Japan) 23, 11, 226 (1959).
- Shirato, M., D. Eng. Thesis, Nagoya University. Nagoya. Japan (1960).
- Shirato, M., Aragaki, R. Mori and Sawamoto, K.; "Predictions of Constant - Pressure and Constant - Rate Filtration". Chem. Eng. (Japan) 1, 86 (1968).
- Shirato, M.; Aragaki, T. and Iritani, E.; "Analysis of Constant Pressure Filtration of Power - Law Non-Newtonian Fluids". Chem. Eng. (Japan), 13 (1), 61-6 (1980).
- Skotnica, J.; Bajger, J.; Slachta, A.; "Filter press". Gzech 159, 700 (Cl. B 01 D), 15 Aug (1975).

- Svarovsky, L.; "Solid - Liquid Separation". Chemical Engineering Series, Butterworths, London (1977).
- Terzaghi, K.; and Peck, R.B.; "Soil Mechanics in Engineering Practice". Johns Wiley, New York (1948).
- Tiller, F.M.; "The Role of Porosity in Filtration". Chem. Eng. Progr. 49, 467-79 (1953).
- Tiller, F.M.; "The Role of Porosity in Filtration: Part. II". Chem. Eng. Progr. 51, 282-90 (1955).
- Tiller, F.M.; "The Role of Porosity in Filtration: Part. III". A.I.Ch.E. J. 4, 170-4 (1958).
- Tiller, F.M. and Cooper, H.R.; "The Role of Porosity in Filtration: Part IV". A.I.Ch.E. J. 6, 595-601 (1960).
- Tiller, F.M. and Cooper, H.R.; "The Role of Porosity in Filtration: Part V". A.I.Ch.E. J. 8, 445-9 (1962).
- Tiller, F.M. and Shirato, M.; "The Role of Porosity in Filtration: Part VI". A.I.Ch.E. J. 10, 61 (1964).
- Tiller, F.M., Stewart Haynes, J.R., and Wei-Ming Lu.; "The Role of Porosity in Filtration: Part VII". A.I.Ch.E. J. 18 (1), 13-20 (1972 a).

Tiller, F.M., and Wei - Ming Lu; "The Role of Porosity in Filtration: Part VIII". A.I.Ch.E. J. 18 (3), 569-72 (1972 b).

Tiller, F.M.; and Anantharama Krishnan, O.V.; "Filtration with variable slurry concentration". Pac. Chem. Eng. Congr. (Proc.) 2 (1), 661-6 (1977 a).

Tiller, F.M. and Grump, J.R.; "Solid - Liquid Separation: An Overview". Chem. Eng. Prog. 73, (10), 65-75 (1977 b).

Ueda, K.; Yoshioka, N.; "Method of Calculating Liquid Pressure Distribution in Cakes at Constant Pressure Cake Filtration". Kagaku Kogaku Rombunshu (Japan), 2 (5), 535-7 (1976).

Von Niessen, D.; Schunda, K.; "Filter Press". Ger Offen. 2, 238, 323 (Cl. B 01 d) 21 Feb (1974).

Wright, H.J.L.; Kitchener, J.A.; "The Problem of Dewatering Clay Slurries: Factors Controlling Filterability". J. Colloid Interface Sci. 56 (1), 57-63 (1976).

Zimmerman, O.T., and Lavine, I. "Chemical Engineering Laboratory Equipment". Industrial Research Service, Dover, New Hampshire, 448-454 (1943).

Reunido el Tribunal que suscribe, en el día de la fecha, acordó otorgar, por unanimidad, a esta Tesis doctoral de

D. Aurora Seco Teneçillas

la calificación de Sobresaliente Cum Laude

Valencia, a 23 de octubre de 1980

El Secretario,

El Presidente



Handwritten signatures in blue ink. One signature is clearly legible as 'Seco' and another as 'Teneçillas'. There are also some illegible scribbles and initials.