

COMPARACION DE LOS DIFERENTES METODOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS

Por el Dr. ISIDORO ASENSIO AMOR,
Jefe de la Sección de Química del Laboratorio de Caminos.

Se resumen en el presente artículo los tres métodos que más corrientemente se emplean para el análisis granulométrico, haciendo un estudio comparativo de los mismos e indicando, al final, la técnica que se adopta para ello en el Laboratorio de Caminos.

El análisis granulométrico es de un interés extraordinario en la práctica del Ingeniero. Indiquemos como ejemplo una carretera; en ella existe una íntima conexión entre el pavimento y el suelo, hasta tal extremo que ambos deben ser de características aproximadamente semejantes, es decir, la existencia de un buen camino implica la unión de un tipo adecuado de pavimento con un suelo también tipo.

Por ello nos preguntaríamos: ¿cómo saber el tipo de suelo apropiado para un determinado pavimento? Si consideramos el suelo como un sistema disperso, dependiendo las propiedades físicas del mismo de que los granos o partículas sean más o menos gruesas, haciendo un análisis de estos granos tendremos perfectamente conocidas sus características.

Si el suelo es un sistema disperso, uno de los factores más importantes será el estado de dispersión en que se encuentran los elementos que lo constituyen; pues bien: el análisis granulométrico es el utilizado para este fin, separando el suelo en diferentes fracciones de muy diversa dispersidad. Esta dispersión es interesante, ya que cuanto más pequeñas sean las partículas dispersas, mayor será su superficie y la facilidad reaccional química que posean. Las partículas del suelo de diferentes tamaños, varían, además de en su diámetro, en su forma de originarse, propiedades físicas, estructura y composición química. La mayor parte de estas partículas dispersas provienen de la erosión de las rocas que constituyen la corteza terrestre y que posteriormente dan lugar a la formación del suelo; unas partículas de mayor tamaño que tienen su origen en la destrucción o demolición de las rocas, producidas por cambios bruscos de temperatura, heladas, rozamiento de unas partículas con otras y arrastradas por una corriente de agua; en una palabra, es lo que comprende

la erosión física o desintegración. En cambio, existen otras partículas más finas, procedentes de una acción química (oxígeno, anhídrido carbónico, agua) o erosión química.

Los problemas del suelo relacionados con los sedimentos producidos por estos tipos de erosión, desintegración mecánica y descomposición química de las rocas, son estudiados desde hace bastante tiempo. En países como los Estados Unidos de América del Norte, han dedicado a este objeto una gran atención, y las técnicas, resultados y conclusiones de las investigaciones realizadas están citadas en varias revistas.

Las fracciones de los análisis granulométricos no corresponden a separaciones naturales, sino que son puntos de una curva; por ello existe un contraste entre las fracciones gruesas y finas del suelo. Las fracciones mayores constituyen las arenas que pueden considerarse como roca pulverizada. Las fracciones más pequeñas forman la arcilla. Unas y otras tienen propiedades completamente distintas a la roca de origen; el cuadro siguiente nos muestra el contraste existente entre una y otra fracción:

ARENA	ARCILLA
Límite líquido bajo Muy poca cohesión.	Límite líquido alto. Gran cohesión cuando secas.
Alto rozamiento íntimo.	Escaso rozamiento íntimo.
Pequeña variación de volumen.	Alta variación de volumen.
Permeables.	Impermeables.
Volumen de huecos: 25 por 100 del total.	Volumen de huecos: 60 % del total.
Forma redondeada.	Forma de placas.
Plasticidad muy pequeña o nula.	Alta plasticidad.

Existe una tercera fracción, complementaria del análisis granulométrico e intermedia entre las dos anteriores, que es el limo, cuya característica es la de no ser tan plástica como la arcilla, aunque sí más permeable.

Por todo ello se reconoce la importancia que tiene el análisis granulométrico de los suelos, lo cual nos ha guiado para la presentación de este artículo, procurando estudiar suelos de diferente localidad y naturaleza, para poder apreciar con más exactitud las ventajas e inconvenientes de los métodos objeto de estudio.

* * *

Varios métodos son empleados para la determinación granulométrica de los suelos; de ellos hemos elegido tres para su comparación: Internacional de Robinson [1], adoptado como oficial en el Congreso de Washington de 1927; el de A. S. T. M., D. 422-38 T, revisado en 1938 [2], y el de Bouyoucos [3], con las modificaciones introducidas por Casagrande [4].

Las gráficas obtenidas van expuestas en un orden riguroso de descripción. Las técnicas de los métodos se citan muy brevemente, ya que van acompañadas de su correspondiente bibliografía, donde, para su mayor detalle, puede ser consultado.

En un artículo anterior [5] hicimos la comparación del método de Bouyoucos con el Internacional de Robinson, en el cual expresábamos la necesidad de un buen medio de dispersión para que el método de Bouyoucos pudiese tener una validez cuantitativa, ya que, aunque fijaban con la interpretación de las curvas el tipo aproximado de suelo, sin embargo los resultados en el porcentaje de las distintas fracciones no eran muy exactos.

En la actualidad nos ocupamos en realizar, en el Laboratorio de Caminos de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, una serie de determinaciones analíticas sobre diversas muestras enviadas desde diferentes obras en construcción, y empleamos métodos que, al mismo tiempo de ser rápidos, pueden llevar una indicación al Ingeniero.

En dicho Laboratorio tenemos montadas las técnicas correspondientes a los tres métodos citados para su utilización en las diferentes muestras.

Se ha realizado el estudio experimental sobre diversos suelos, y por su mayor exactitud, el método tipo que se adoptó para la comparación ha sido el Internacional de Robinson, el cual parte de la muestra tamizada por el tamiz de 2 mm. y deseca a

110° C. En los suelos que tengan carbonatos, destruye éstos mediante ácido clorhídrico. La materia orgánica es atacada con agua oxigenada, y el resto del suelo lo pasa por el tamiz de 0,2 mm. para separar la arena gruesa, pasando el contenido que atraviesa el tamiz a un matraz con sosa para proceder a su agitación, dispersarlo y tomar las diferentes fracciones con pipeta a diferentes tiempos de sedimentación. Albareda [6] cita todos los detalles de la técnica, por lo que prescindimos de repetirla.

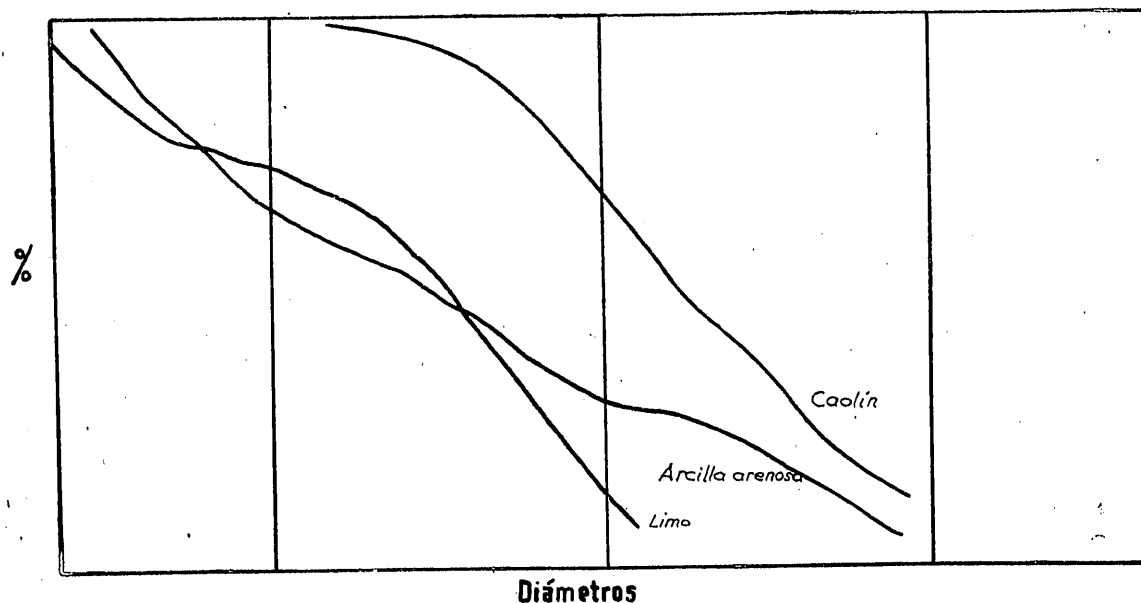
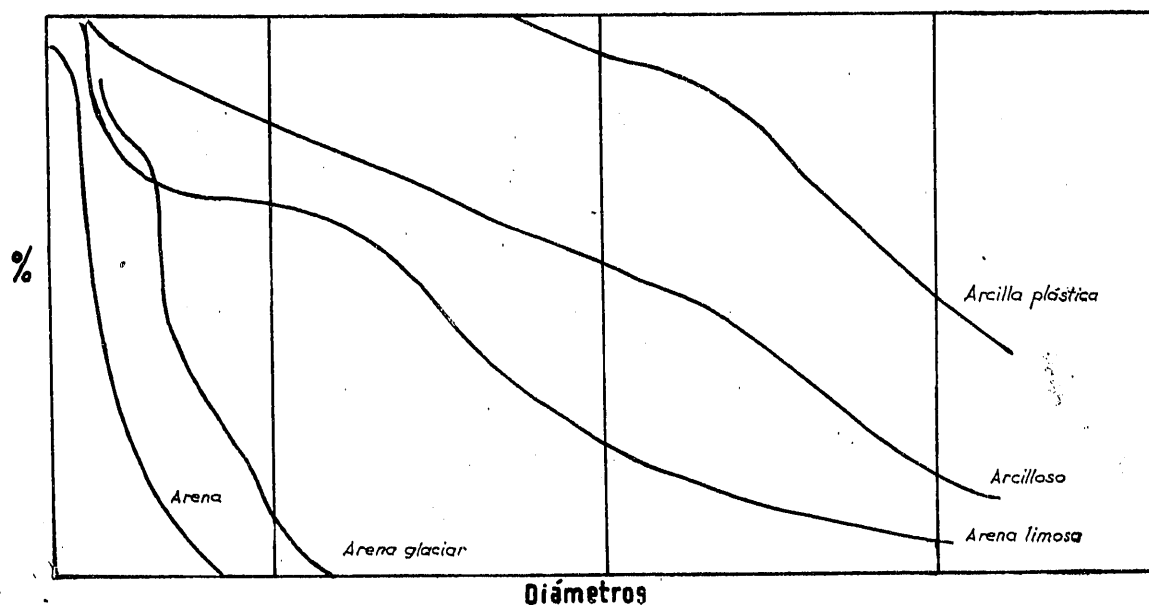
Los valores de arcilla obtenidos con el método Internacional de Robinson son, en la mayoría de los casos, más altos que en los otros dos, como puede apreciarse en las distintas gráficas que se relacionan en este artículo.

Este método es de gran interés en el estudio granulométrico de los suelos, pero de ejecución larga y delicada, si han de conseguirse con él resultados aceptables; además, exige un montaje de laboratorio que, aunque simple, no se dispone de él en todas las ocasiones y lugares, por ejemplo en obras donde es necesario la realización de análisis sucesivos y asequibles a un laboratorio portátil; sin embargo, repetimos que los resultados que con él se obtienen son bastante exactos.

El método de Bouyoucos, con las modificaciones introducidas por Casagrande, parece no tener la delicada exactitud que el anterior. Consiste la operación en lo siguiente: se pesan 50 gr. de suelo, colocándolos en una cápsula con agua hasta consistencia pastosa muy fluida y deshaciendo los terrones con un pistilo de goma. Pasando esta pasta a la copa de dispersión, se añade agua hasta la señal de enrase, variando el tiempo de agitación según la naturaleza del suelo: entre los cinco minutos, para los suelos arenosos, y diez minutos, para los arcillosos. Como agente defloculante se emplea silicato sódico (metasilicato) en solución normal ($\text{SiO}_3\text{Na}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$); se utilizan 5 c. c. de esta solución. Una vez transcurrido este tiempo de agitación, se pasa la mezcla dispersa agua-suelo a una probeta de 1000 c. c., lavando bien el vaso del agitador hasta que no quede ninguna partícula. Se agita la probeta por inversiones sucesivas; colocándola en la mesa se introducirá el densímetro, comenzando a hacer las correspondientes lecturas. Sumergido el densímetro, se hacen las lecturas al 1/2, 1, 2, 5, 15, 45 minutos, siguiendo a las 2, 4, 6, 8 y 24 horas. Después de cada lectura se saca el densímetro y se mide la temperatura, sobre todo en las que están muy distanciadas. Si a las veinticuatro

horas no varía la lectura del densímetro, se da por terminada la sedimentación. Si al cabo de este tiempo las lecturas son muy diferentes, se seguirán haciendo lecturas cada veinticuatro horas. Termi-

sante para fines en que el número de muestras es excesivo y no se desea una precisión extremada, llevándose a la práctica con extraordinaria comodidad, valiéndose de un densímetro tarado, sin



nada la sedimentación, se pasa el contenido de la probeta por la serie de tamices, lavando con agua en abundancia; se deseca a 110° C. y se pesa el contenido de cada tamiz.

Como puede observarse, este método tiene una técnica más sencilla, razonable y lo más intere-

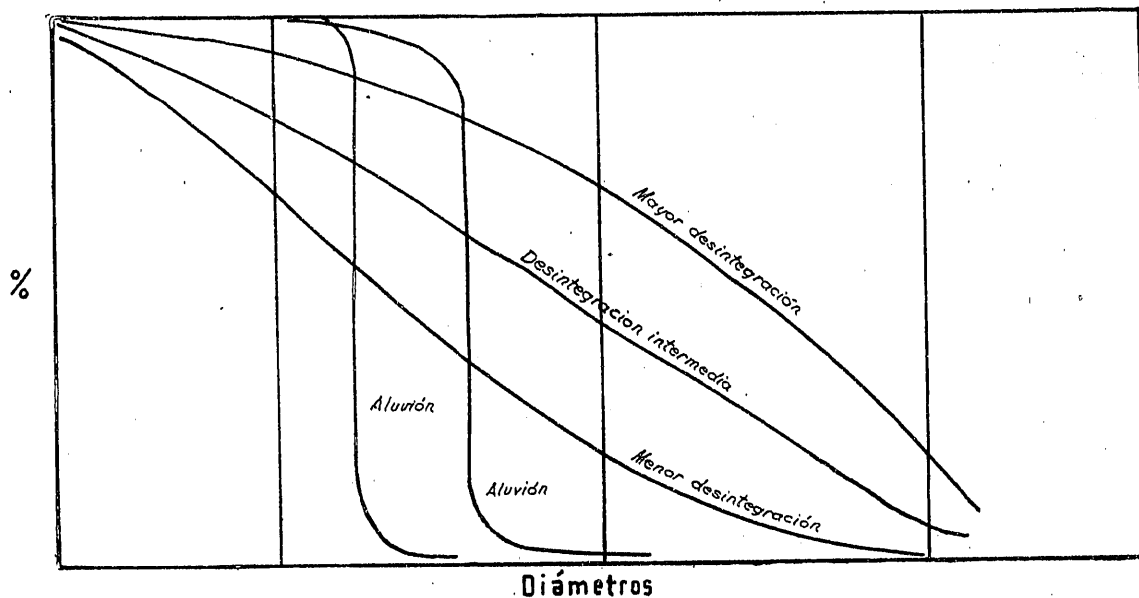
requerir otros reactivos especiales que el dispersante ($\text{SiO}_3\text{Na}_2 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$).

Las curvas de cada uno de los métodos comparados, y siempre considerando al Internacional de Robinson como más exacto, son completamente diferentes en su forma, pero no en su interpreta-

ción, ya que cada uno reproduce un tipo característico de suelo.

Las gráficas que a continuación se exponen in-

según que el avanzado estado de desintegración sea mayor o menor. Un suelo cuya curva granulométrica sea una recta, podemos considerarle como

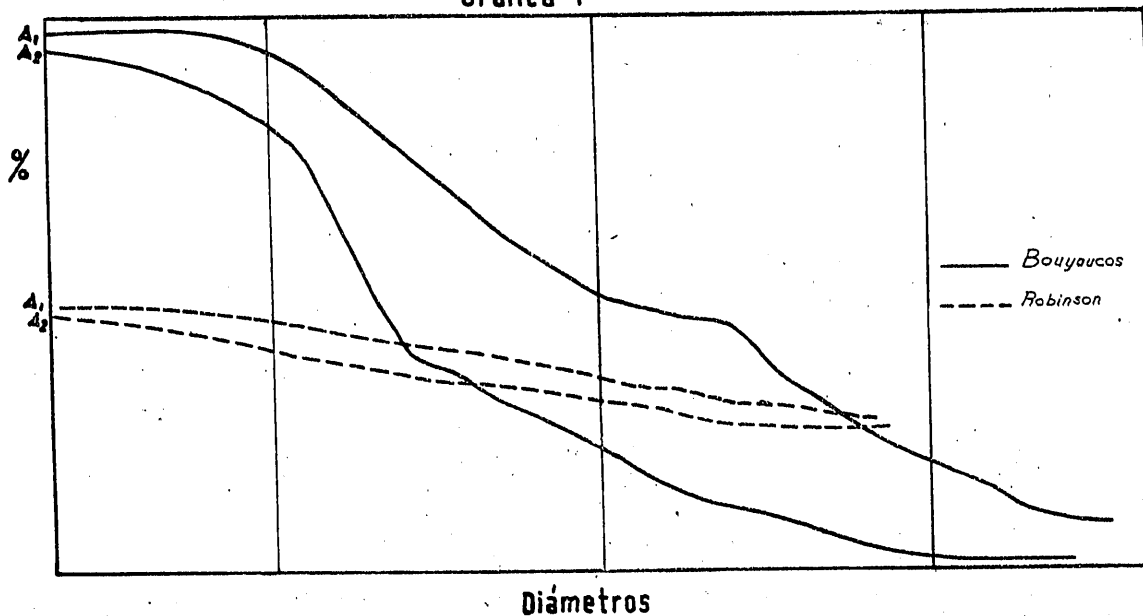


dican la interpretación de cada uno de los tipos de suelo [7].

La erosión de las rocas es tanto más avanzada

intermedio entre los dos anteriores. Un suelo cuya curva sea paralela al eje de ordenadas, está constituido solamente de partículas del mismo diámetro,

Gráfica 1



cuanto que el porcentaje de partículas pequeñas sea mayor; resulta, por consiguiente, en la gráfica, que la curva será cóncava hacia arriba o hacia abajo,

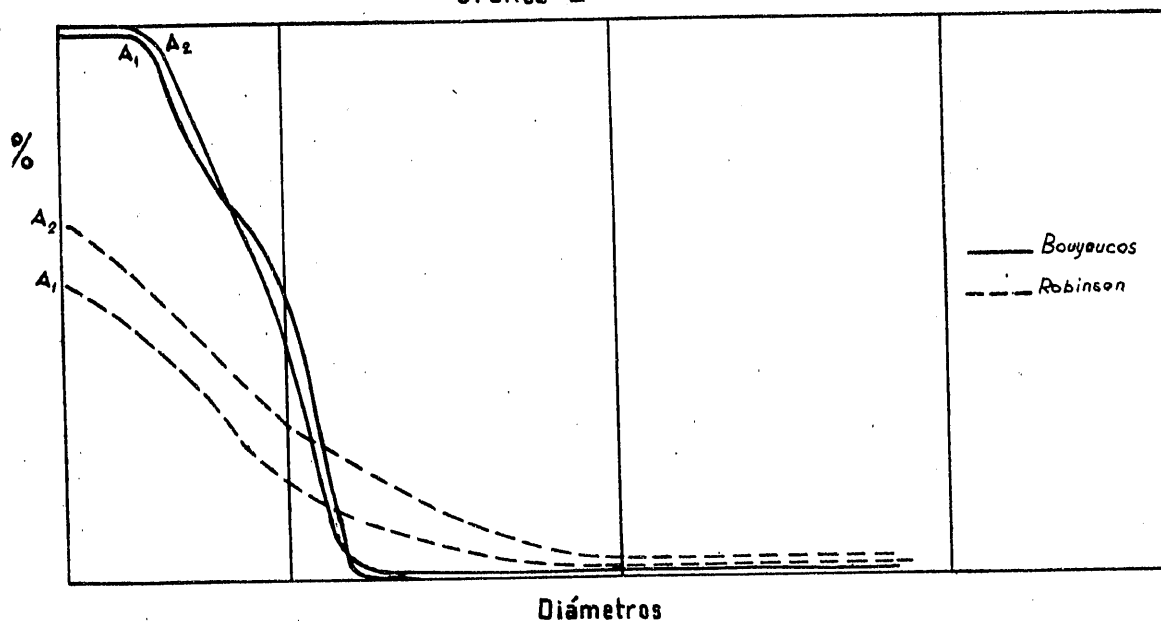
las cuales pueden provenir de aluviones o de depósitos eólicos (véase gráfica adjunta).

En las gráficas 1 y 2, obtenidas por nosotros,

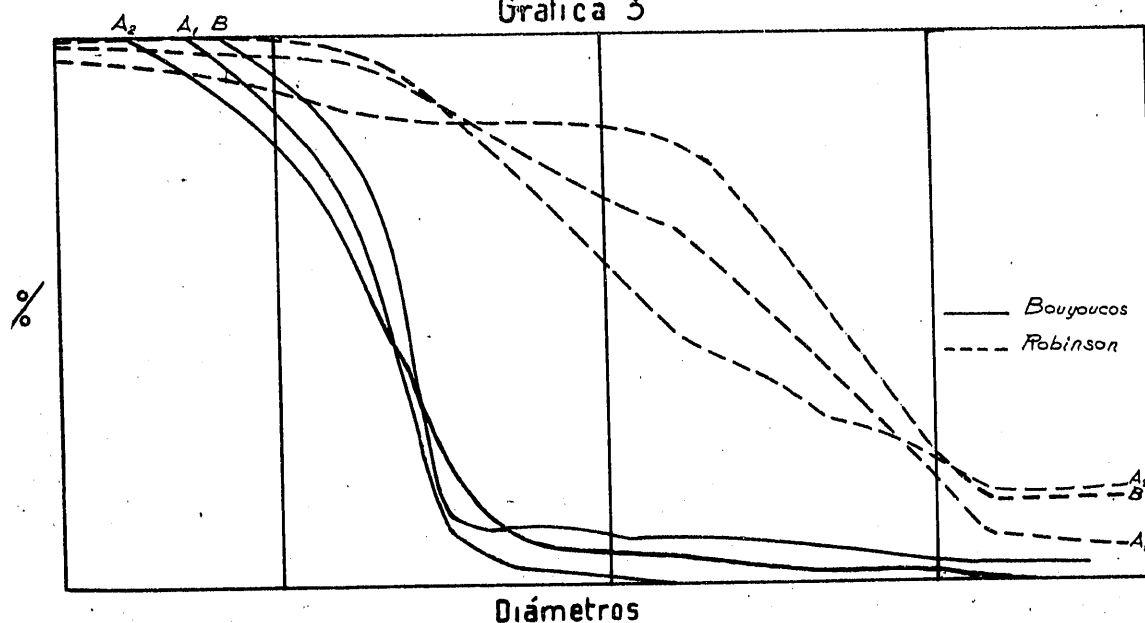
se aprecia claramente la diferencia entre uno y otro método y las deficiencias de cada uno de ellos. La destrucción de las partículas de carbonato cálcico hacen que las curvas halladas por el método de

En la gráfica 3 se observa perfectamente que la arcilla no ha llegado a su total dispersión, acusándose, por consiguiente, un porcentaje muy bajo con el método Bouyoucos.

Gráfica 2



Gráfica 3



Robinson vayan por debajo en la zona izquierda del diagrama. La imperfecta dispersión de la arcilla en el método de Bouyoucos resalta en el hecho de que los valores hallados para ellos sean menores que en el método Internacional.

La relación de las partículas de mayor tamaño, en un método y otro, están más de acuerdo, siendo lógico, ya que en las dos se determina por tamizado. En el método de Bouyoucos se encuentran los valores de arena gruesa y fina generalmente más eleva-

dos, lo que se aprecia perfectamente, repetimos, al no destruir carbonatos, poseyendo el de Robinson la desventaja de operar sobre material destruido, por lo que la gráfica granulométrica varía.

El método de la A. S. T. M. (American Society for Testing Materials) está basado en la aplicación del densímetro a una mezcla de agua-suelo con un medio favorecedor de la dispersión, dependiendo la aplicación de este método del índice de plasticidad del suelo; por la lectura del densímetro, con la corrección de la temperatura y a un tiempo determinado, se calcula la concentración de partículas de la mezcla.

La técnica de la operación es la siguiente: la muestra del suelo es seleccionada por el método del cuarteo o por medio de un tomamuestras, a partir del material que pasa por el tamiz núm. 10. El peso de cada muestra debe ser, aproximadamente, 115 gr., para suelos arenosos, y 65 gr., para suelos limosos o arcillosos, debiendo obtenerse de acuerdo con el método provisional para preparar muestras de suelo recibidas directamente del campo [8].

La humedad se determina a partir de 10 gramos de la muestra seleccionada, la cual se coloca a la estufa a 110° C. hasta peso constante. Dos métodos son empleados por la A. S. T. M., dependiendo la aplicación de uno u otro del índice de plasticidad del suelo, como indicábamos anteriormente, determinado según el método provisional de ensayos de límite plástico e índice de plasticidad de los suelos [9].

MÉTODO A: *Para suelos que tengan un índice de plasticidad igual a 20.* — El suelo se coloca en un vaso de precipitados de forma alta, con 200 c. c. de agua destilada, agitando constantemente hasta que el suelo quede perfectamente mojado. Esta mezcla agua-suelo se deja en reposo durante dieciocho horas como mínimo, transcurridas las cuales se pasa a la copa de dispersión y se agrega agua destilada hasta el enrase. Entonces se añade el medio dispersante, consistente en 20 c. c. de una solución de cristales de silicato sódico ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), cuya densidad corresponde a 1.023. Se pone en funcionamiento el aparato de agitación durante un minuto.

MÉTODO B: *Para suelos cuyo índice de plasticidad sea mayor que 20.* — Se coloca el suelo en el vaso de precipitados de forma alta y se le añaden lentamente 100 c. c. de agua oxigenada al 6 por 100, agitando constantemente hasta que el suelo quede perfectamente mojado. Se cubre el vaso con un vidrio de reloj y se coloca en una estufa a la

temperatura de 110° C. durante una hora. Transcurrido este tiempo, se saca el vaso de precipitados de la estufa, agregándole 100 c. c. de agua destilada, dejando la mezcla reposar durante dieciocho horas como mínimo, al cabo de las cuales se traslada al vaso de dispersión, poniendo en marcha el agitador durante un minuto.

El objeto del agua oxigenada es ayudar a la dispersión más que destruir la materia orgánica. En todos los casos es interesante observar siempre la hélice del aparato de dispersión, si está o no desgastada, para reemplazarla inmediatamente por otra, pues el brusco movimiento de rotación llega a erosionar algunas partículas gruesas del suelo, y más aún si las aristas son muy pronunciadas, con lo cual la relación granulométrica variará.

Una vez conocidos los dos métodos de dispersión, pasemos a la manera de operar con el densímetro. Después del período de dispersión, la mezcla agua-suelo se traslada a la probeta graduada y se añade agua destilada que tenga la misma temperatura que el baño de temperatura constante, hasta que la mezcla tenga el volumen de 1000 c. c. Se colocará la probeta con la suspensión de suelo en el baño de temperatura constante. Mientras que la suspensión se coloca a la misma temperatura del baño, hay que agitar constantemente con una varilla de vidrio para impedir la sedimentación de las partículas en suspensión; cuando está a la misma temperatura el contenido de la probeta y el agua del baño regulador, se saca la probeta, se agita su contenido por sucesivas inversiones durante un minuto y se coloca nuevamente en el baño.

Al terminar esta agitación debe empezarse a contar el tiempo y tomarse lectura con el densímetro al finalizar el primer minuto y el segundo. El densímetro debe leerse en la parte superior del menisco formado por la suspensión alrededor de su vástago. Se toman lecturas sucesivas en el intervalo de 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos, a partir del comienzo de la sedimentación, haciendo al mismo tiempo lecturas del termómetro colocado en el baño de temperatura constante y que coincida siempre con los números de las lecturas del densímetro. Al final de cada lectura, exceptuando la correspondiente al primer minuto, se saca el densímetro cuidadosamente para que no produzca agitación en la suspensión. Se limpia y se deja aparte. Quince segundos antes del tiempo de la lectura próxima debe colocarse nuevamente con lentitud y cuidado en la suspensión del suelo, no debiendo to-

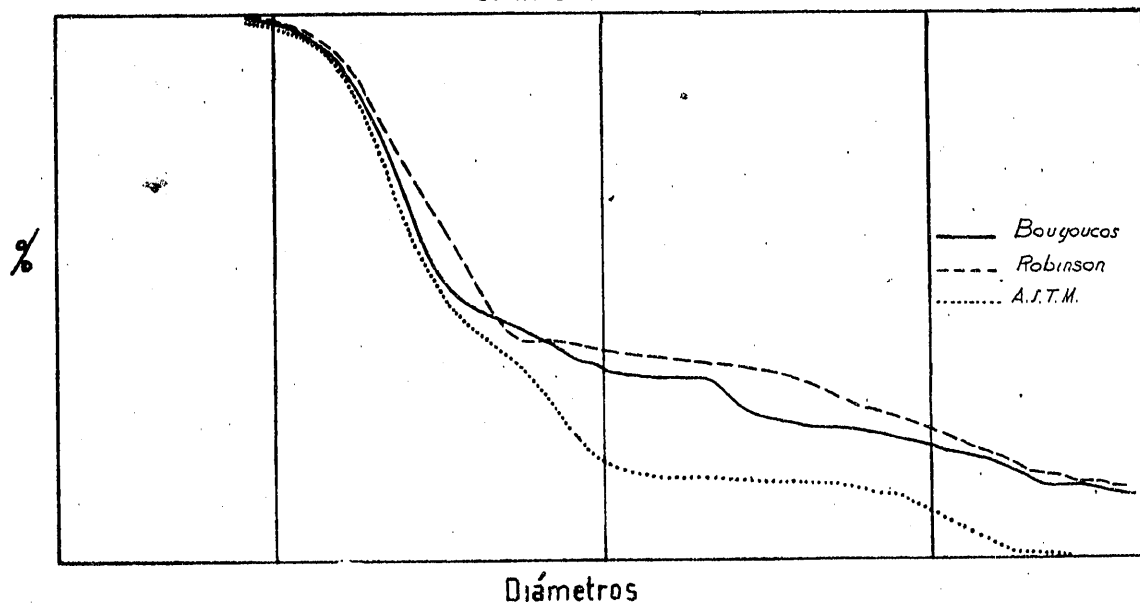
marse lectura alguna hasta que el densímetro haya llegado al perfecto reposo.

Finalmente, después de la última lectura de la suspensión, se procederá al análisis por el tamizado,

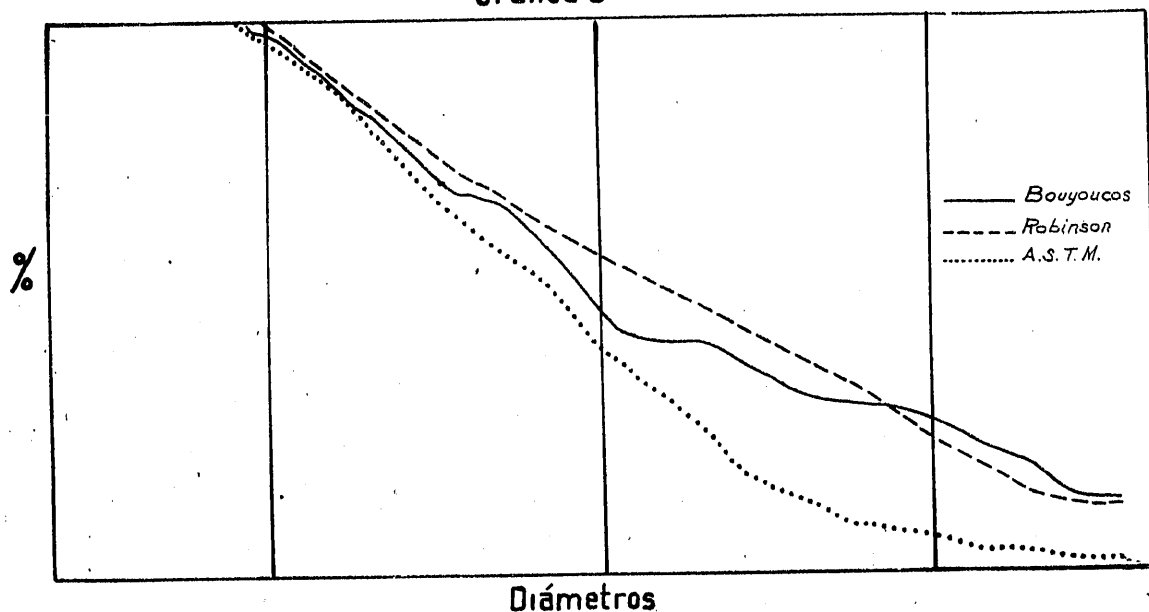
consistentes en los números 20, 40, 60, 140 y 200.

Como queda indicado, los valores de arcilla más altos corresponden al método Robinson. Esta dife-

Gráfica 4



Gráfica 5



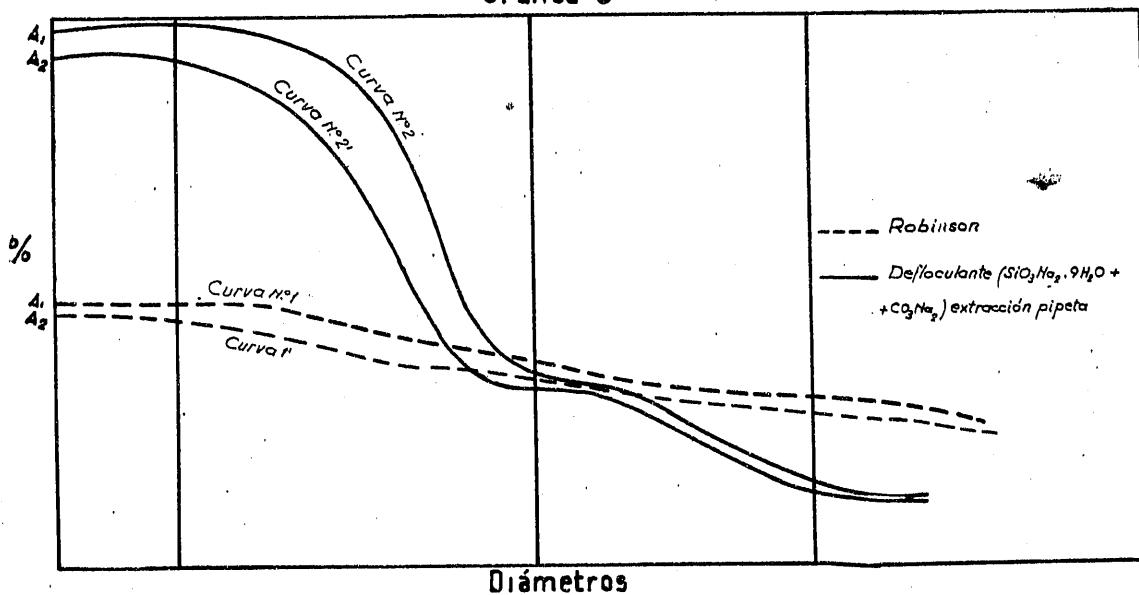
llevando todo el contenido de la probeta sobre el tamiz núm. 200. La fracción que retiene este tamiz se lava mecánicamente con agua, se seca a la estufa y posteriormente se pasa por una serie de tamices

rencia de valores puede ser atribuida a la falta de dispersión de los métodos de Bouyoucos y A. S. T. M., ya que, sobre todo este último, indica sólo un minuto de agitación, cuyo tiempo parece que

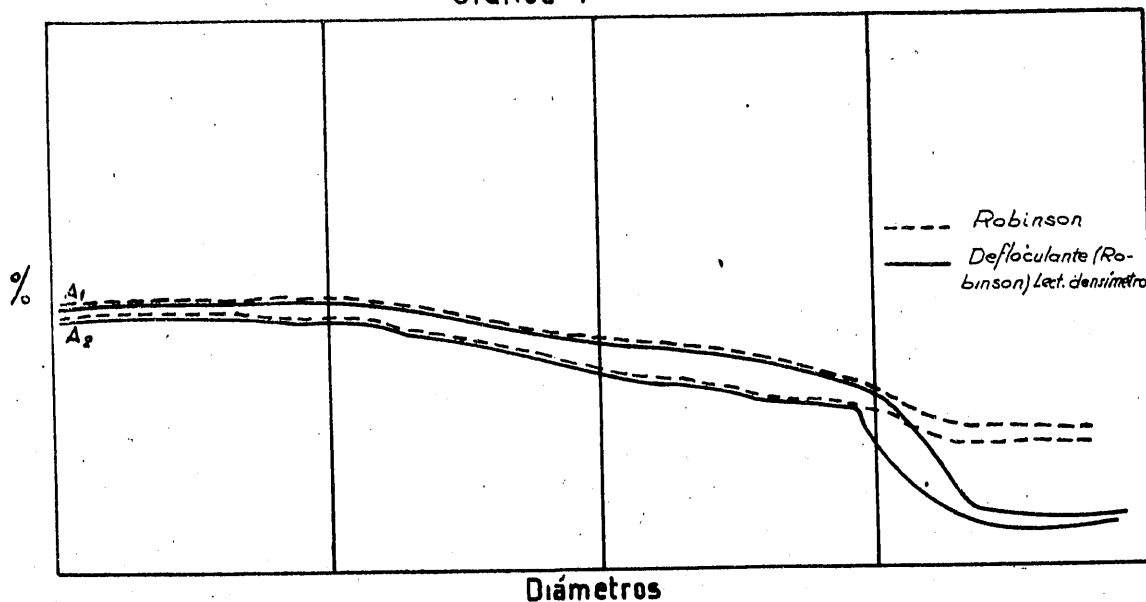
no basta para que se realice una completa dispersión. Por esta razón, nosotros hemos operado con la técnica del densímetro, pero utilizando como agentes defloculantes 5 c. c. de silicato sódico de

pueden apreciarse en las curvas representadas en las gráficas números 4 y 5, han sido más aproximados al método Internacional. Por lo tanto, el minuto es insuficiente, a no ser que los suelos anali-

Gráfica 6



Gráfica 7



densidad 1,36 y 2 gr. de carbonato sódico, variando además el tiempo de agitación (dos horas en el aparato rotatorio que utiliza la técnica del método Internacional de Robinson). Los resultados, como

zados, al dar como válida la técnica A. S. T. M., hayan sido lo necesariamente dispersos, aun cuando hay que suponer que no; de todos modos, no es aplicable en casos generales, como puede observarse.

Para observar el comportamiento de los medios de dispersión utilizando la pipeta o el densímetro, hemos seguido las siguientes técnicas:

1.^a Se dispersó corrientemente con los agentes defloculantes silicato sódico y carbonato sódico en la proporción que indicábamos anteriormente, para después utilizar la pipeta en vez del densímetro. Los resultados vienen representados por las curvas que a continuación se indican (gráfica 6).

En esta gráfica se representa el método Robinson, seguido según la técnica Internacional (curvas 1 y 1') en un suelo calizo de la zona Cartagena-Alicante, constituido por dos horizontes, A_1 y A_2 . Las curvas números 2 y 2' indican el método que hemos seguido con la dispersión citada y posterior utilización de la pipeta. Se puede apreciar cómo el porcentaje de arcilla es más pequeño y el de limo aproximadamente igual. La diferencia de arcilla puede ser debida a la dificultad en la dispersión, motivada por ser un suelo con bastante materia orgánica y un porcentaje de carbonatos excesivamente altos.

2.^a Se dispersó corrientemente por el método Robinson, para posteriormente utilizar el densímetro. Los resultados son las curvas de la gráfica 7.

En estas curvas se puede observar la coincidencia en todos sus puntos, menos en la arcilla.

Consideraciones sobre los resultados.

Por todo lo anteriormente expuesto, se deduce que los métodos basados en el densímetro tienen una relativa seguridad y sólo pueden ser empleados en aquellos suelos que no requieran una exactitud esmerada, sirviendo de término medio entre unas determinaciones a *grosso modo* con la probeta unida al matraz y los ensayos con el método Internacional de Robinson.

El motivo del uso del método Internacional de Robinson y por lo que le hace más recomendable es por su dispersión; las partículas de arcilla pueden estar rodeadas de materia orgánica y una capa de carbonato cálcico; al destruir estos materiales con agua oxigenada y ácido clorhídrico, respectivamente, hace que la dispersión sea más favorable. Pero esta forma de dispersión de Robinson no justifica su empleo como mayor exactitud; puesto que la pequeña ventaja que nos proporciona en la arcilla queda anulada al destruir con clorhídrico las partículas de carbonato cálcico de mayor o menor ta-

maño, quedando, por consiguiente, deformado el contenido granulométrico del suelo. Además, aunque el método registre consigo el tanto por ciento en anhídrido carbónico, éste no puede, de ningún modo, reconstruirnos el tamaño y agregación de las partículas del suelo primitivo. Por otra parte, es obligado repetir la pérdida de tiempo y el material no asequible a todos los pequeños laboratorios, que representa el uso del método Robinson para aplicarlo al gran número de muestras y obtener unos resultados tan poco diferenciables con los métodos del densímetro y el método de dispersión nuestro, que si bien tienen errores, no vienen compensados por el empleo del método Internacional completo.

Ya que tanto el método Robinson como los que utilizan el densímetro tienen ventajas acogedoras, nos permitimos aconsejar una fusión de los dos, utilizando la dispersión nuestra. Experiencias realizadas sobre diferentes suelos, que no citamos por el gran número de gráficas que son y que hacen extensísimo este artículo, nos confirman en la utilización de nuestra técnica.

TÉCNICA SEGUIDA POR NOSOTROS.

Se dispersa el suelo con 2 gr. de carbonato sódico puro y 5 c. c. de silicato sódico siruposo ($D = 1,36$), agitando durante una hora en aparato rotatorio (60 revoluciones por minuto). Transcurrido este tiempo, se traslada la suspensión a una probeta de 1 000 c. c. Se agita por inversiones sucesivas, tomando con la pipeta de Robinson la suspensión a los tiempos de cuatro minutos, cuarenta y ocho segundos y ocho horas, a la profundidad de 10 cm.; el resto de las lecturas, o sea 1/2, 1, 2, 4, 10, 15 y 45 minutos; 2, 4, 6 y 24 horas, se hacen con el densímetro, completando de esta forma los claros que deja el Robinson, y de esta manera obtener más puntos en la curva granulométrica. Si el suelo contiene un exceso de materia orgánica, se tendrá en maceración con H_2O_2 durante veinticuatro horas antes del comienzo de la dispersión (H_2O_2 : 6 %).

Para observar el error que tuviese esta técnica por exceso de agitación (ya que creemos que el pequeño tiempo de agitación que citan las técnicas de Bouyoucos y A. S. T. M. es por miedo a una erosión de las partículas debida a su rozamiento), hemos probado la veracidad de este hecho colocando

en agitación arena gruesa y fina solamente con los reactivos defloculantes, de la manera siguiente:

Recogimos las tres fracciones que retienen los tamices núms. 324, 900 y 4 900, de un suelo de Cubillas, próximo a Granada; mezcladas estas porciones, se colocaron en agitación con el defloculante (CO_3Na_2 y $\text{SiO}_3\text{Na}_2 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$), durante una hora y en aparato de rotación (60 revoluciones por minuto). Transcurrido este tiempo, desecamos y se pesaron nuevamente las diferentes porciones. Los resultados han sido los siguientes:

Peso de las fracciones mezcladas, antes de la agitación.

Tamiz núm.	324.....	8,99 gr.
" "	900.....	1,36 "
" "	4 900.....	3,55 "

Total de la mezcla..... 13,90 gr.

Peso de las fracciones mezcladas, después de la agitación.

Tamiz núm.	324.....	8,90 gr.
" "	900.....	1,35 "
" "	4 900.....	3,09 "

Total de la mezcla..... 13,34 gr.

Como se puede apreciar, la diferencia (0,56) o porción erosionada durante la agitación es insignificante con relación a los 50 gr. de suelo de que se parte para el análisis granulométrico, quedando por completo desechada la idea de que la diferencia

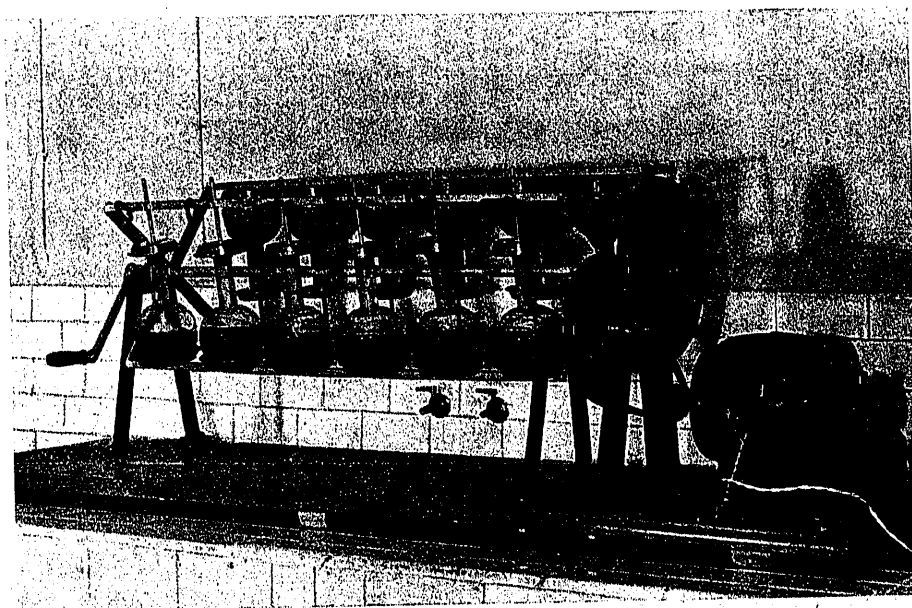
de curvas pudiese ser debida al largo tiempo de continua agitación.

Al tomar con la pipeta Robinson los 20 c. c. en el tiempo señalado, puede existir un error, debido a que dentro de estos 20 c. c. existe una cantidad de silicato sódico y carbonato sódico que, al evaporarse, quedaría como residuo y aumentaría el porcentaje de la fracción correspondiente. Para probar este error, hemos tomado 20 c. c. de la probeta cuyo contenido era agua con los reactivos defloculantes utilizados; colocados los 20 c. c. en una cápsula y evaporados a sequedad, nos dió un residuo de proporción tan pequeña, que se puede desechar sin tomarlo como un error en el porcentaje de la fracción.

Los cálculos correspondientes a las lecturas con el densímetro y la pipeta, así como las correcciones que se hacen, son los mismos de Casagrande y Robinson, para lo cual se remite a consulta en la bibliografía correspondiente.

Conclusiones.

1.^a El período de agitación en los análisis granulométricos es de importancia capital para la obtención de buenos resultados. Las técnicas de Bouyoucos y A. S. T. M. marcan los tiempos de 5-10 minutos y hasta 30 y 1 minuto respectivamente, siendo en nuestra consideración insuficientes y dando lugar a resultados erróneos. Sin ser un tiempo fijo, consideramos de una a dos horas (en aparato de rotación) suficiente para la dispersión.



Aparato de rotación utilizado por nosotros en el Laboratorio de Caminos.

2.^a La proporción de los agentes defloculantes de los métodos de Bouyoucos y A. S. T. M. nos parece débil para obtener una dispersión suficiente y que nos proporcione resultados satisfactorios, por lo que, después de realizar varias experiencias en distintos suelos, proponemos un medio defloculante eficaz en la dispersión de suelos (agua oxigenada, carbonato sódico, silicato sódico).

3.^a Aun cuando el método de análisis granulométrico de Robinson nos parece el más exacto, la destrucción de carbonato cálcico origina una evaluación distinta del contenido de partículas, que no compensa el pequeño exceso de arcilla que nos proporciona en suelos con abundante materia orgánica, ya que en los de poco contenido de ésta, la proporción de arcilla es, aproximadamente, la misma. Por otra parte, al dejar en maceración con agua oxigenada, durante veinticuatro horas, estos suelos de gran materia orgánica, provocamos una mayor dispersión y el resultado de arcilla es siempre más aproximado al Robinson.

4.^a Las consideraciones expuestas en las dos conclusiones anteriores es lo que nos ha conducido a fusionar las dos técnicas (densímetro y pipeta) con un agente defloculante suficiente para obtener una buena dispersión y proporcionar una técnica operatoria de fácil manejo y que se obtenga la mayor exactitud para fines de ingeniería.

Bibliografía.

1. Robinson, G. W.: "A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions". *Agric. Sci.*, 12, 287. 1922.
2. American Society for Testing Materials: *Proceedings of the Forty-First Annual Meeting*, vol. 38, parte I, 1938.
3. Tamés Alarcón, C.: *Métodos físicos y químicos de laboratorio para el estudio de los suelos y de las tierras de cultivo*, pág. 149. Madrid, 1945.
4. Casagrande: *Die Aräometer Methode zur Bestimmung der Kornverteilung von Böden*. Berlín. Springer, 1934.
5. Asensio Amor, I.: "Sobre el análisis granulométrico de suelos". *Rev. R. Academia Farmacia*. Enero 1947.
6. Albareda, J. M.^a: *El Suelo*, pág. 140 Ed. Saeta. Madrid.
7. Buisson, M.: *Caractéristiques Physiques et Mécaniques des sols*. París, 1942.
8. Op. cit. [2], pág. 942.
9. Op. cit. [2], pág. 965.