

## Análisis granulométrico por métodos automáticos: tubo de sedimentación y sedigraph

Salvador GIRÓ y Andrés MALDONADO

U.E.I. Geología Marina, Instituto de Ciencias del Mar, C.S.I.C. Paseo Nacional, s/n, 08003 Barcelona

### RESUMEN

La instrumentación utilizada para el análisis granulométrico por métodos automáticos consta de un tubo de sedimentación para la fracción arena y un Sedigraph 5000D para la fracción lutita. Con el tubo de sedimentación se determina la distribución del tamaño de grano de las partículas por medida de cambios de presión en una columna de agua donde se deposita el sedimento. El Sedigraph se basa en la diferencia de transmisividad de los rayos X que pasan a través de una celda donde se encuentra un sedimento en suspensión. La intensidad de lectura es función de la concentración de partículas.

Tanto el tubo de sedimentación como el Sedigraph proporcionan una curva granulométrica parcial. Mediante un programa de ordenador se integran ambas curvas y se obtiene la distribución granulométrica total y los parámetros granulométricos convencionales. La gran cantidad de información suministrada permite determinar con la máxima exactitud los resultados granulométricos por el método de los momentos.

*Palabras Clave:* Tubo de sedimentación. Análisis granulométrico. Análisis sedimentológico. Distribución tamaño de grano.

### ABSTRACT

The instrumentation for rapid, high precision grain-size analysis of clay, silt and sand size particles used by the marine geology group of the Instituto de Ciencias del Mar (C.S.I.C.) is described. A large diameter settling tube was developed for the analysis of the sand fraction and a Sedigraph 5000D is employed for size analysis of the clay and silt fraction.

The settling tube has been adapted from the instrumentation described by Nelsen (1976). The system measures pressure changes induced in a column of water by sediment settling through a measured distance. The Sedigraph determines the size distribution of particles dispersed in a liquid. It measures the attenuation of a finely collimated X-ray beam as a function of time and height in a settling suspension.

A computer program was developed to calculate grain size parameters and the cumulative curve for each sample.

### INTRODUCCIÓN

La metodología utilizada para el análisis granulométrico es frecuentemente objeto de controversia por la gran variedad de técnicas y principios empleados (Müller, 1967). Diferentes instituciones han utilizado diversos métodos para el estudio de la distribución de los tamaños de grano en el sedimento e incluso los métodos empleados no parten del mismo principio para las diversas fracciones granulométricas. Así, la forma más usual de realizar una curva granulométrica total es mediante el análisis de la fracción arena por tamizado y la determinación de la fracción fina a partir de la velocidad de sedimentación de las partículas en un fluido. La curva granulométrica total obtenida a partir de dos principios diferentes para una misma muestra puede conducir a resultados erróneos, si se considera que en el primer caso se mide el eje menor de las partículas, independiente de la densidad y la forma, mientras que el segundo se calcula un diámetro esférico equivalente que depende de varios factores.

En todo análisis granulométrico, uno de los condicionamientos principales que se deben considerar es el objetivo de dicho análisis. Las técnicas necesarias pueden ser diferentes si lo que se quiere conocer es la distribución de tamaños de grano de un material destinado a fines industriales o, si por el contrario, el objetivo se centra en el conocimiento de los procesos que han dado lugar a un depósito sedimentario. En sedimentología, cuando se analiza un depósito texturalmente lo que se pretende por lo general es llegar a establecer los mecanismos de formación, es decir las características del medio de transporte y la energía durante el depósito.

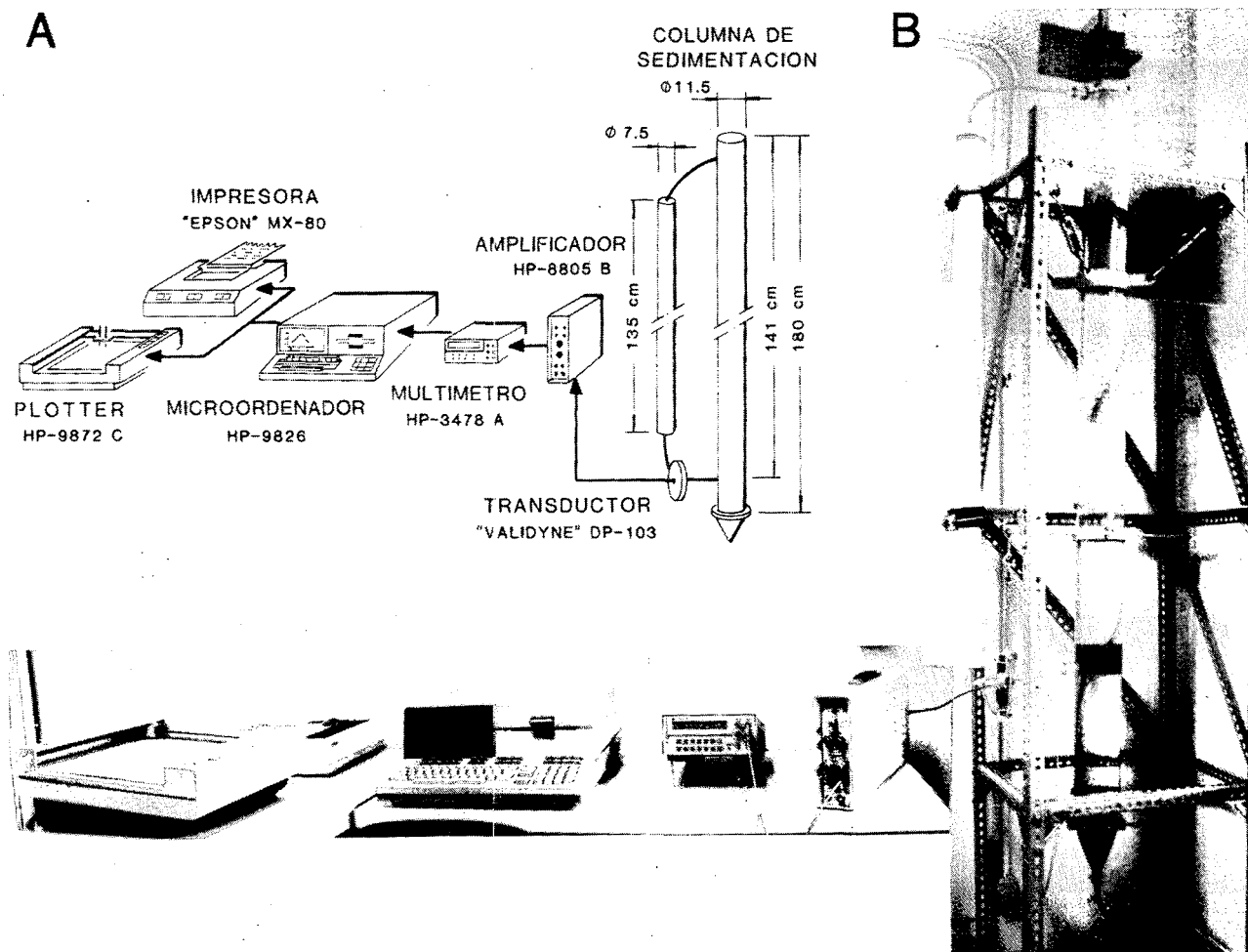


Figura 1.- A. Esquema detallado del instrumental utilizado en el tubo de sedimentación, cada uno de los instrumentos vienen señalado con su número de referencia. B. Fotografía del tubo de sedimentación y de sus componentes de medida.

Figure 1.- A. Description of components used for the automatic recording settling tube; B. Photograph of tube and components.

Para sedimentos marinos, esto generalmente equivale a conocer el comportamiento hidrodinámico de una determinada población de partículas y, en consecuencia, el mejor método de análisis es aquel que determine el comportamiento de estas partículas en el agua en función de su tamaño, densidad y forma. Los métodos más comúnmente empleados a este fin son los basados en la determinación de la velocidad de caída libre de una partícula en un fluido y el cálculo de su diámetro esférico equivalente. Las notables diferencias de velocidad de caída libre entre las diferentes fracciones granulométricas hacen inviable utilizar la misma instrumentación para fracciones gruesas y finas de los sedimentos. No obstante, si se aplica el mismo principio, se puede asumir que los resultados obtenidos para las diversas

fracciones granulométricas de una misma muestra serán congruentes.

La metodología empleada en la Unidad de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar, consiste en un tubo de sedimentación, especialmente desarrollado por nosotros, para el análisis de la fracción arena y en un Sedigraph 5000D<sup>1</sup> para la determinación de la fracción menor de 50 micras. Los resultados obtenidos por estos dos métodos, que utilizan el mismo principio básico de la velocidad de caída libre de las partículas en un fluido, son tratados por un programa de ordenador, que permite obtener la distribución total de tamaños de grano y los parámetros texturales más comunes. Esta metodología se describe detalladamente en el presente artículo.

## EL TUBO DE SEDIMENTACIÓN

La muestra se subdivide en dos fracciones, una para el análisis de la fracción arena y otra para el análisis de la fracción pelítica. La fracción granulométrica superior a 50 micras se separa en húmedo previa disgregación de la muestra en  $H_2O_2$  al 20% durante una semana y en hexametáfosfato sódico al 1‰ durante unas horas, con el fin de eliminar la materia orgánica por oxidación y separar los agregados de la fracción pelítica.

La fracción retenida en el tamiz de 50 micras se seca y tamiza posteriormente en seco con tamices de 50, 2000, 4000 y 6000 micras para el cálculo de porcentajes de estas fracciones por diferencias en peso. La fracción de 50-2000 micras se analiza posteriormente con un tubo de sedimentación. El análisis de la fracción superior a 2 mm por sedimentación requiere una altura de caída libre que haría el experimento poco viable, analizándose esta fracción, cuando está presente, por tamizado.

El tubo de sedimentación es un método automatizado y rápido de análisis de tamaño de grano de la fracción arena. Está fundamentado en la ley de Stokes para la caída libre de partículas esféricas en un fluido. Hasta el momento se han construido tubos de sedimentación basados en dos sistemas: medida de presión diferencial y medida del peso de las partículas (Felix, 1969; Nelson, 1976).

El sistema de funcionamiento del tubo de sedimentación que hemos construido está basado en la medición de la diferencia de presión entre dos columnas de agua conectadas por la parte superior. El cambio de presión originado por la introducción de sedimento en una de las columnas es medido por un transductor de presión. A medida que el sedimento pasa a la altura del transductor, la presión disminuye hasta retornar a la presión inicial cuando todas las partículas han pasado (Zeigler et al, 1960; Schlee, 1966).

Si hay una población de tamaños de grano, los cambios de presión representan la distribución de frecuencia de las velocidades de sedimentación de la población, dado que los granos de mayor tamaño o los más esféricos caen con mayor rapidez y pasan antes por el medidor de presión.

### *Instrumentación y componentes*

Toda la instrumentación utilizada está fundamentada en el sistema ARSA de la NOAA (Nelsen, 1976) modernizando, sin embargo, todos los componentes electrónicos y adecuando las dimensiones de los compo-

nentes mecánicos a las medidas propuestas por Gibbs (1972).

El tubo utilizado en este sistema es de plástico transparente con un diámetro interior de 11.5 cm. y una longitud total de 180 cm. En la base lleva adosada una pieza de vidrio en forma cónica, con un tubo de goma terminal con dos cierres, lo que permite, si es necesario, recuperar la muestra, después del experimento.

Este tubo transparente está perforado a 0.5 cm. y 141 cm. de la superficie del agua. La distancia entre los dos orificios del tubo principal (0.5 y 141 cm) es necesaria para asegurar que todas las partículas sean detectadas, después de que haya cesado el oleaje producido tras la introducción de la muestra. El extremo superior se conecta con un tubo de 6 mm de diámetro, a otro de plástico de 7.5 cm de diámetro, el cual sirve para amortiguar las posibles oscilaciones de temperaturas durante el experimento. Por la parte inferior se conecta asimismo con un tubo flexible de 6 mm de diámetro a un transductor de presión. El orificio inferior del tubo principal, situado a 141 cm de la superficie, está conectado al otro extremo del transductor (Fig. 1).

Ambas columnas se sostienen sobre una estructura metálica con una base rectangular de plomo de 100 kg, que se encuentra sobre un soporte de 15 cm de espesor de caucho y madera. Todo ello evita que las vibraciones externas al sistema afecten a las mediciones.

Los cambios de presión son medidos por un transductor de presión para rangos ultrabajos, Validyne modelo DP 103. El desplazamiento del diafragma produce un voltaje que tras ser aumentado por un amplificador Hewlett Packard modelo 8805B, es convertido en señal digital mediante un multímetro Hewlett Packard modelo 3478A.

La señal del multímetro se introduce en un microordenador HP modelo 9826 que relaciona los tiempos de caída y las presiones, convirtiéndolas en tamaños de grano y porcentajes. Por último los resultados obtenidos se muestran de forma gráfica a través de un plotter HP modelo 9872C y los resultados numéricos mediante una impresora EPSON (Fig. 1).

Todo el sistema está conectado a un estabilizador de corriente a fin de que las fluctuaciones del voltaje de la red general no distorsionen la señal causando fallos en el sistema de lectura del multímetro. Además, el laboratorio donde está situado el tubo de sedimentación permanece a temperatura constante, mediante un sistema de aire acondicionado, debido a que el transductor de presión es extremadamente sensible a los cambios de temperatura.

### Método de análisis

La muestra compuesta por partículas comprendidas entre 2000 y 50 micras se extiende sobre un tamiz de malla 50 micras, se humedece y se coloca en la parte superior del tubo de sedimentación, de forma invertida. Los granos de arena se mantienen por tensión superficial (Felix, 1969). Mediante un sistema de poleas múltiple se introduce el tamiz en la parte superior del tubo, al entrar en contacto con el agua las partículas quedan liberadas y se produce una descarga simultánea y homogénea.

El peso de la muestra a analizar debe oscilar entre 5 y 7 gr. Un peso menor de sedimento puede no ser representativo y un peso mayor provoca una saturación en la lectura del multímetro e invalida el experimento.

Por debajo del sensor de presión queda una longitud total de aproximadamente 40 cm. Esto permite realizar, si no es necesario recuperar las muestras, numerosos experimentos antes de renovar el agua del tubo de sedimentación (Nelsen, 1976).

### Adquisición de datos y programa de cálculo

El programa utilizado incluye subrutinas de adquisición de datos, de cálculo de porcentajes de tamaño de grano, de obtención de parámetros granulométricos, impresión de resultados, realización gráfica de una curva acumulativa y de un histograma de frecuencia (Fig. 2).

Antes del inicio de cada experimento el multímetro se ajusta aproximadamente a cero. La adquisición de datos se inicia en el momento en que la muestra se introduce en el tubo de sedimentación, creando un rápido aumento del voltaje. Durante los cuatro segundos iniciales, la lectura no se considera debido a la existencia de cierto oleaje producido al introducir la muestra.

La subrutina de lectura de datos del multímetro toma las primeras 75 lecturas a intervalos de 0.1 sg., de la lectura 76 hasta la 270 se toman los valores del multímetro a intervalos de 0.5 sg. y a partir de aquí hasta la lectura 420 lo hace a intervalos de 2 sg. El voltaje va disminuyendo con el tiempo hasta igualarse a la lectura inicial una vez que toda la muestra ha pasado por el transductor de presión.

El cálculo de los porcentajes acumulativos para cada lectura se efectúa teniendo en cuenta el voltaje inicial que se toma como voltaje 0 y el voltaje máximo, cuando toda la muestra se encuentra dentro del tubo entre la superficie del agua y el transductor de presión. La fórmula utilizada para calcular los porcentajes acu-

mulados para cada tiempo es la siguiente:

$$\text{Poracum (I)} = ((\text{Volt (I)} - \text{Volt 0}) / (\text{Volt 100} - \text{Volt 0})) * 100$$

donde:

Poracum (I) = porcentaje acumulado para el tiempo I  
Volt (I) = lectura del multímetro en el tiempo I  
Volt 0 = lectura inicial del multímetro  
Volt 100 = lectura máxima del multímetro

El cálculo para la obtención del tamaño de grano para cada tiempo se realiza a partir de la fórmula de Gibbs et al. (1971).

$$r = \frac{0.05804V_f^2 + 0.003114v^4 + (g(s - \rho)(4.5v + 0.00875v^2\rho)}{(g(s - \rho)}$$

donde:

r = radio de la esfera en centímetros  
v = velocidad en cm/sg  
g = aceleración de la gravedad (cm/sg<sup>2</sup>)  
= viscosidad del fluido en poises  
 $\rho_f$  = densidad de fluido en g/cm<sup>3</sup>  
 $\rho_s$  = densidad de las partículas en g/cm<sup>3</sup>

Con todo esto se obtiene el porcentaje de arena para cada tamaño de grano correspondiente a cada tiempo medido. A partir de estos valores se realiza el cálculo para la obtención de los porcentajes para cada 1/4 de phi.

Si el sedimento que se está analizando esta compuesto íntegramente por arena, se puede utilizar una subrutina que permite realizar el cálculo de los percentiles (1, 10, 16, 25, 50, 75, 84, 90), media en phi, clasificación, asimetría y angulosidad, por el método gráfico y por el método de los momentos, así como la representación gráfica de una curva granulométrica acumulativa y un histograma de frecuencias a intervalos de 0.25 phi (Fig. 2).

Los porcentajes para cada 1/4 de phi son grabados en un disco flexible para su posterior tratamiento en el cálculo de la curva granulométrica total.

### FRACCIÓN PELÍTICA (< 50 MICRAS): SEDIGRAPH 5000D

Para el análisis de la fracción fina se procede como en la fracción arena, a una disgregación de la muestra en H<sub>2</sub>O<sup>2</sup> al 20% y se tamiza en húmedo con hexametafosfato sódico al 1°/000 recogiendo la fracción inferior a 50 micras. La pelita en suspensión, obtenida por tamizado, es centrífuga para eliminar el agua y el hexametafosfato, posteriormente es resuspendida en unos

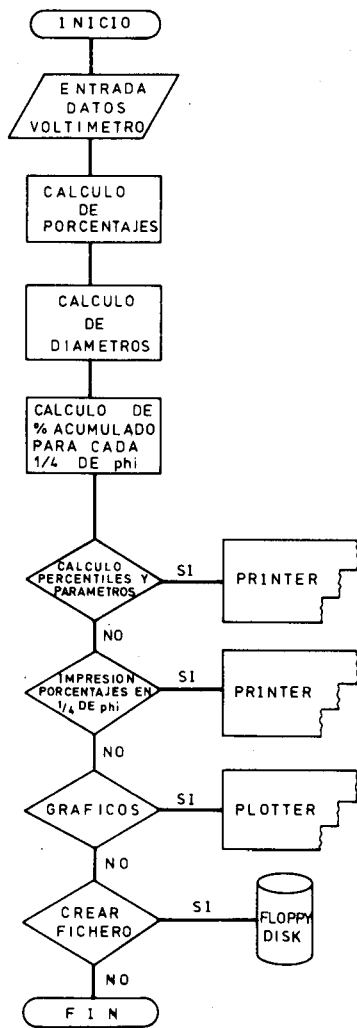


Figura 2.- Diagrama de flujo del programa de obtención de datos del tubo de sedimentación y cálculo de parámetros granulométricos de la fracción arena. El programa se inicia tomando los datos del voltaje, suministrados por el multímetro, a intervalos de tiempo predefinidos. A partir de estos datos se calculan los porcentajes parciales en peso, para cada tiempo y los diámetros en unidades phi, integrando ambos resultados. Si el operador lo desea, el programa puede efectuar el cálculo de parámetros granulométricos y su posterior impresión, también puede dar la lista impresa de los porcentajes acumulados para cada 1/4 de phi, así como dibujar la curva acumulativa y el histograma de frecuencias mediante un plotter. Posteriormente los datos pueden ser gravados en un disco flexible, para el posterior análisis total, con el resto de fracciones granulométricas de la muestra.

Figure 2.- Flowchart of the settling tube data analysis and textural parameters computation program. This program starts with the voltage recorded from the multimeter on time intervals and calculates the weight percentage and the phi diameters at each time interval. A menu allows the operator to select different options, to print the granulometric parameters and the accumulative weight percentage at 1/4 phi intervals, to graphically display the cumulative curve, the frequency histogram, and to record the data on a floppy disk for later calculation.

20 cc de solución de hexametáfosfato al 1°/00 y analizada mediante un analizador de tamaño de partículas SEDIGRAPH 5000 D. El Sedigraph 5000D mide la velocidad de sedimentación libre de las partículas dispersas en un líquido y presenta automáticamente los datos en forma de curva de distribución de tamaños acumulados, en términos de diámetro esférico equivalente. El principio de funcionamiento se base en un haz de rayos X finamente colimado que pasa a través de una celdilla donde se encuentra la muestra en suspensión acuosa. Esta fuente mide la concentración de las partículas, en términos de transmisividad, de la suspensión en relación con el fluido. La transmisividad, de los rayos X es función de la concentración de los sólidos en suspensión. La radiación transmitida es detectada por un contador de centelleo y posteriormente es tratada y convertida en voltajes (Micromeritics, 1978).

Para el líquido sin muestra el voltaje se iguala a cero. Cuando la celda es rellena por una suspensión, se produce una señal de salida que es directamente proporcional a la concentración de las partículas en el nivel de la celda donde intercepta el rayo. La señal es aplicada al eje de las Y en la gráfica X-Y, el cero corresponde al 0% de partículas en suspensión. La señal producida cuando la celda es llenada con muestra dispersa y homogénea es escalada al 100%.

El tamaño mayor de una partícula que puede estar presente en suspensión acuosa en este instrumento es de 50 micras. Para obtener una medida precisa de las partículas más gruesas es necesario una altura de la celdilla de aproximadamente 2 cm, para a su vez minimizar los efectos de turbulencia. Para hacer el análisis hasta 0.2 micras para una altura de 2 cm son necesarias aproximadamente 210 horas. Este problema ha sido solucionado haciendo bajar la celda que contiene la muestra con respecto a la fuente de rayos X, en función de lapsos de tiempo, de forma que la altura decrece de forma continua. El movimiento de la celda está sincronizado con el eje de las X de la gráfica X-Y que indica los diámetros esféricos equivalentes que corresponden a cada lapso de tiempo. La curva acumulativa de tamaños de grano de 50 a 0.2 micras, se presenta de forma logarítmica en una gráfica semilogarítmica de tres ciclos.

Aunque el aparato está diseñado para funcionar con tamaños de partículas comprendidos entre 100 y 0.1 micras, para partículas de densidad media cercana a 2.65 y tamaños superiores a 50 micras deben emplearse líquidos de densidad y viscosidad superiores al agua, para retardar la velocidad de caída de las partículas.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

### Cálculo de los parámetros

El cálculo de los parámetros granulométricos se realiza mediante un programa de computador en Basic con un Microordenador HP 9826 a partir de los datos del tubo de sedimentación, el peso inicial de muestra seca y el peso retenido en los tamices de 50, 2.000, 4.000 y 6.000 micras, así como de 14 puntos (incremento de  $1/2 \phi$ ) de la curva de la fracción pelítica obtenida con el SEDIGRAPH. El programa calcula las diferentes fracciones granulométricas (arcilla, limo, arena y grava) y los percentiles de la curva integrada de la muestra. A partir de estos se realiza la curva acumulativa total y el histograma de frecuencias y se calculan los siguientes parámetros granulométricos: media, desviación típica, asimetría y angulosidad, por el método gráfico y por el método de los momentos (Fig. 3 y 4).

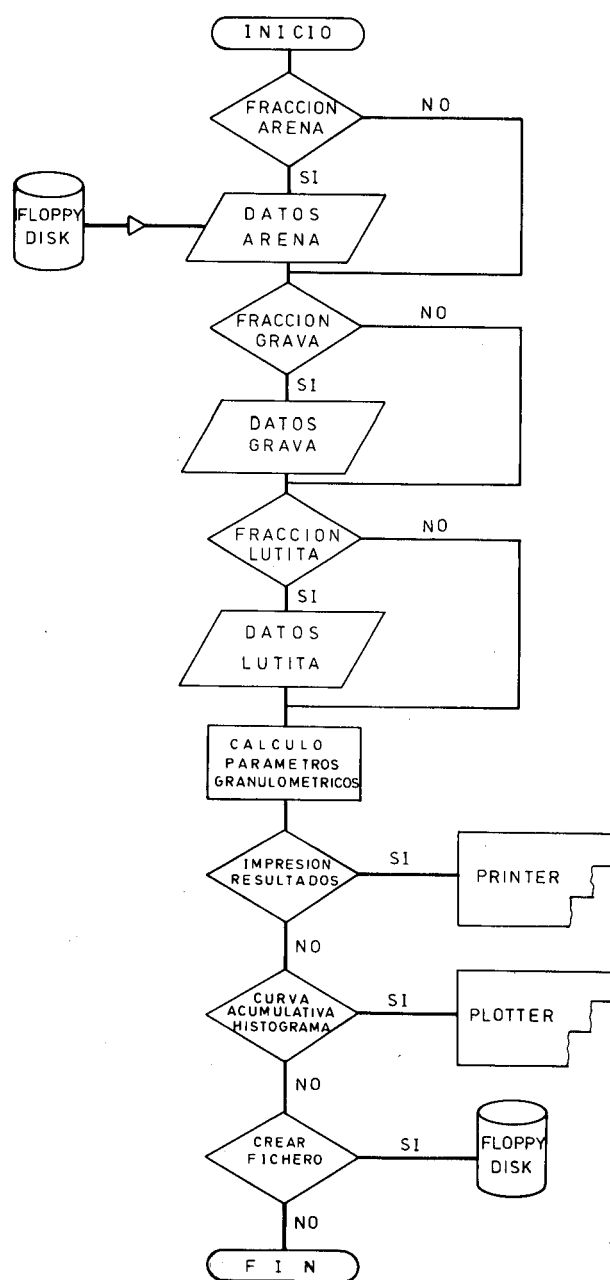
Para la mayoría de ensayos, la densidad de muestreo detallada permite el cálculo de los parámetros textuales por el método de los momentos (Friedman, 1967). Este método presenta la ventaja, sobre los métodos clásicos, de tener en cuenta la totalidad de la curva de distribución de frecuencias. Esto es importante en curvas de cola larga y en curvas con más de una moda, dos casos que se producen con frecuencia en sedimentos marinos. Por otra parte, el método de los momentos presenta el inconveniente de que pocos autores citan datos calculados por este sistema, por lo que las comparaciones con datos correspondientes a sedimentos previamente estudiados son difíciles.

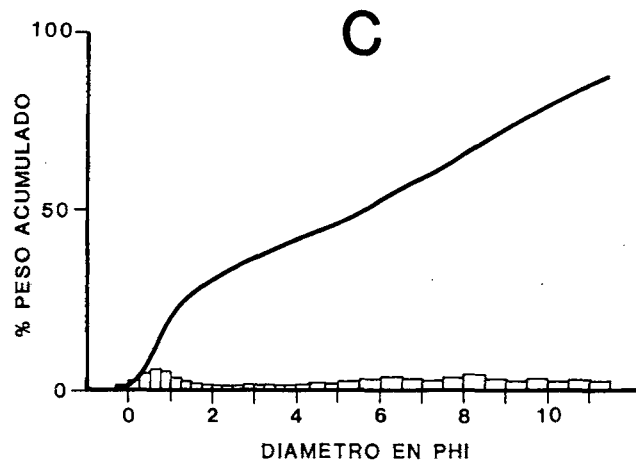
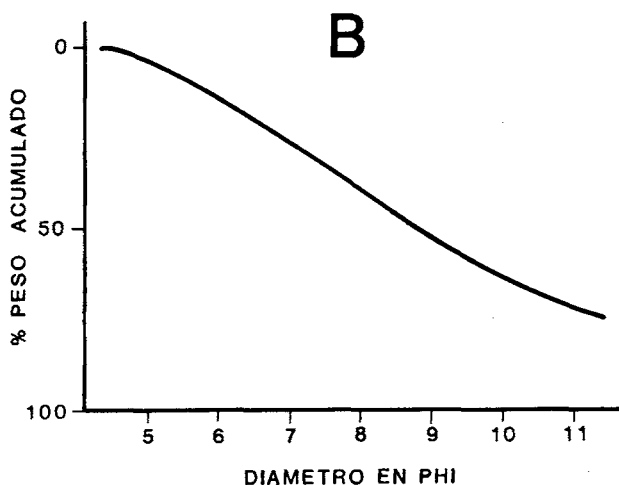
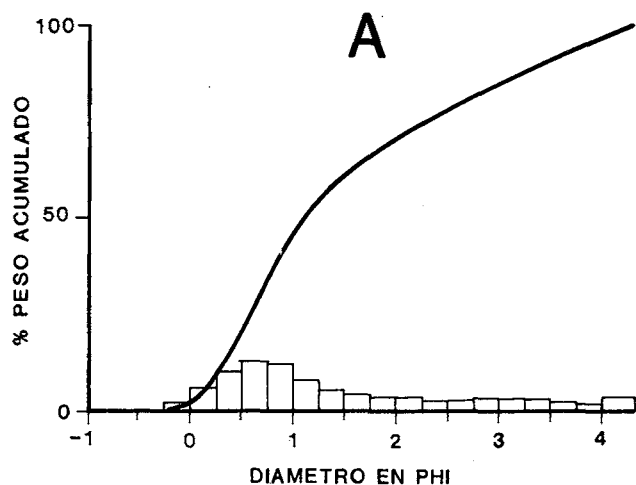
Figura 3.- Diagrama de flujo del programa de realización del cálculo granulométrico de la muestra total. Primeramente se introducen los datos granulométricos de la fracción arena, obtenidos mediante el tubo de sedimentación y previamente gravados en un disco flexible, posteriormente los datos de la fracción grava obtenidos por tamizado, así como los datos de la fracción lutita obtenidos con el Sedigraph 5000D. Con todos estos datos se realiza el cálculo de los porcentajes parciales y acumulados de la muestra total y los parámetros granulométricos. Si el operador lo desea, puede obtener la impresión de estos resultados, la curva acumulativa y el histograma de frecuencias de la muestra total. Así como crear un fichero en el que se pueden guardar todos los resultados para un tratamiento estadístico posterior.

Figure 3.- Flowchart of the complete grain-size analysis program. The program is initiated with information from the settling tube, the coarser than 2 mm grain-size distribution data obtained by sieving, and the fine-grained fraction distribution obtained from Sedigraph. With this information the program calculates the complete textural distribution. A menu with different options allows the operator to print the granulometric parameters, to plot the cumulative curve and frequency histogram, and to record the data on a floppy disk.

## CONCLUSIONES

La metodología descrita para el análisis textural de sedimentos presenta la ventaja, con respecto a otros métodos clásicos, de utilizar el mismo principio de la caída libre de las partículas en agua para las fracciones arena, limo y arcilla. De esta manera, se pueden integrar realmente los resultados de estas fracciones para una misma muestra, aunque la instrumentación empleada no es la misma debido a las notables diferencias en la velocidad de caída de las diferentes partículas.





DPHI	ZACUM	DPHI	ZACUM	PERC	DIAMETRO EN MICRAS	DIAMETRO EN PHI
-2.58	0	3.25	38.6	1	1040	-.0582
-2.38	0	3.5	40.1	10	683	-.549
-2.17	0	3.75	41.3	14	572	-.805
-1.96	0	4	42.1	25	400	-1.32
-1.75	0	4.325	43.9	50	19.8	19.8
-1.54	0	5	46.1	75	1.54	9.34
-1.33	1.27	6	52.2	84	.542	10.8
-1.12	4.14	6.5	56.2	90	.218	12.2
-0.91	6.83	7	59			
-0.70	14.1	7.5	61.8			
-0.49	20.4	8	65.2			
-0.28	24.2	8.5	69.2			
0	26.9	9	73.1			
0.29	29	9.5	75.9			
0.49	30.9	10	79.2			
0.70	32.7	10.5	82			
0.91	34.1	11	84.9			
1.12	35.6	11.5	87.7			
1.33	37	0	0			

12GRAVA	0
ZARENA	42.1
ZILMO	23.1
ZARCILLA	34.8
MEDIA MOMENTOS	4.325
DESVIACION MOMENTOS	3.494
ASIMETRIA MOMENTOS	.7669
ANGULOSIDAD MOMENTOS	2.105
MEDIA EN PHI (G)	5.827
DESVIACION EN PHI (G)	5.022
ASIMETRIA EN PHI (G)	.03378
ANGULOSIDAD EN PHI (G)	.3454
Ø DE PHI (G)	4.011
CLASIFICACION EN MICRAS (G)	19.96

Figura 4.- Curvas acumulativas y diagramas de frecuencia de: A. Fracción arena obtenida mediante tubo de sedimentación. B. Fracción lútica obtenida mediante Sedigraph 5000D, y C. Curva acumulativa total, donde se integran todas las fracciones granulométricas. Nótese que el Sedigraph 5000D presenta la curva acumulativa de forma invertida.

Figure 4.- Cumulative curves and frequency histogram of: A. sand fraction obtained from the settling tube; B. pelitic fraction recorded by the Sedigraph 5000D, and C. Complete grain-size distribution.

La fracción superior a 2 mm se analiza por el método convencional de tamizado. Las velocidades de caída de estas partículas no hacen aconsejable su análisis por un tubo de sedimentación pues se requieren alturas y diámetros poco prácticos. No obstante, en los sedimentos marinos más comunes, para estas fracciones, el efecto de la densidad y la forma no es tan importante como en las fracciones más finas, con excepción de los componentes bioclásticos. El significado de estos componentes, por otra parte, es muy diferente dependiendo de que se trate de elementos transportados o «in situ», permitiendo el análisis por tamizado de esta

fracción el eliminar aquellos elementos que no sean indicativos de procesos de transporte y deposición.

Se debe señalar finalmente, que la metodología propuesta reduce considerablemente el tiempo empleado en el análisis textural, permitiendo el tratamiento de un gran número de muestras con unas técnicas relativamente independientes del operador, lo que hace que los resultados sean repetitivos y comparables entre sí. Esta ventajas, se ponen claramente de manifiesto cuando los resultados texturales de un conjunto de muestras son posteriormente sometidos a análisis estadísticos multivariados.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Terry Nelsen, toda la información suministrada, tanto de carácter técnico como sobre la calibración del tubo de sedimentación construido en la N.O.A.A., que nos ha servido como punto de partida para diseñar nuestra columna de sedimentación. Agradecemos asimismo la ayuda técnica que nos ha proporcionado Josep Peralta en la puesta a punto del instrumental electrónico y queremos mostrar también nuestro agradecimiento a Enric Codina de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Catalunya, por el estudio teórico realizado sobre los cambios de presión dentro de la columna de sedimentación. La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la subvención del Comité Hispano Norteamericano para la Cooperación Científica y Tecnológica, así como a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica.

## BIBLIOGRAFÍA

FELIX, D.W., 1969: «An inexpensive recording settling tube for analysis of sands». *J. Sed. Petrol.* 39: 777-780.

FRIEDMAN, G.M., 1967: «Dynamic process and statistical parameters compared for size-frequency distributions of beach and river sands». *J. Sed. Petrol.*, 37: 327-354.

GIBBS, R.J., MATHEWS, M.D. y LINK, S.A., 1971: «The relationship between sphere size and settling velocity». *J. Sed. Petrol.*, 41: 7-18.

MICROMERITICS. 1978: «Instruction Manual: Sedigraph Particle Size Analyser», 122 p.

MULLER, G., 1967: «*Methods in Sedimentary Petrology*». Hafner Publishing Co., New York - London, 288 p.

NELSEN, T.A., 1976: «An automated rapid sediment analyser (ARSA)». *Sedimentology*, 23: 287-872.

SCHLEE, J., 1977: «A modified Woods Hole rapid sediment analyser». *J. Sed. Petrol.*, 36: 403-413.

ZEIGLER, J.M., WHITNEY, G.G. y HAYES, C.E., 1960: «Woods Hole rapid sediment analyser». *J. Sed. Petrol.*, 30: 480-495.

Recibido, Setiembre 1985