

LICENCIATURA DE GEOLOGÍA - FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE EVOLUCIÓN DE CUENCAS

CURSO DE SEDIMENTOLOGÍA

Responsable del Curso: Prof. Adj. Dr. César Goso Aguilar

PRÁCTICO Nº 4

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ROCAS CLÁSTICAS: ESCALAS
GRANULOMÉTRICAS, MÉTODOS DE ANÁLISIS, REPRESENTACIONES
GRÁFICAS Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS**

Objetivos

1) Conocer la metodología de estudio de sedimentos clásticos, para analizar las fracciones constituyentes.

Conocer las ventajas, desventajas, limitaciones y eficiencias de las técnicas empleadas, teniendo en cuenta algunas propiedades escalares de los sedimentos y el objetivo geológico del análisis.

2) Conocer las principales formas de representación gráfica de los resultados de los ensayos granulométricos, sus ventajas, desventajas y las limitaciones de sus usos.

Conocer las diferentes medidas estadísticas y sus formas de obtención tanto gráficas como analíticas, así como la interpretación geológica de los distintos tipos y saber de su valor relativo.

Nota: además de las muestras de sedimentos finos proporcionadas, se utilizarán las muestras recogidas en la salida de campo.

1. ESCALAS GRANULOMÉTRICAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

1.1 ESCALAS GRANULOMÉTRICAS

INTRODUCCIÓN:

Una escala granulométrica es una subdivisión arbitraria de una sucesión esencialmente continua de tamaños en intervalos de clase.

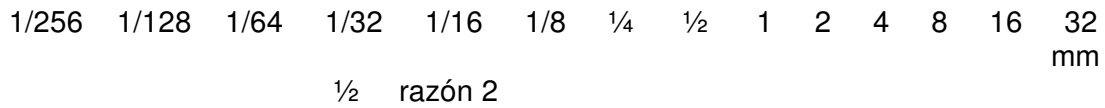
Las razones de la subdivisión son fundamentalmente para:

- 1 - simplificar los análisis estadísticos
- 2 - estandarizar la terminología sedimentológica

Para que una escala granulométrica sea útil en estadística debe ser regular, y sus términos deben mantener entre sí una relación simple. Las escalas lineales son de

utilidad relativa en Sedimentología, pero en cambio las escalas geométricas se adecuan en la generalidad de los casos, ya que proporcionan unidades pequeñas para tamaños menores y unidades mayores para tamaños mayores.

La escala más utilizada es la de UDDEN, modificada por WENTWORTH (ver figura 1).



La escala de Udden - Wentworth es regular, geométrica, no cíclica y no decimal.

Para solucionar la desventaja del manejo de números irracionales, Krumbein propuso la escala PHI. Esta se basa en los diámetros límites en la escala Udden - Wentworth, se expresan como potencias de 2.

$$\frac{2^{-4} \quad 2^{-3} \quad 2^{-2} \quad 2^{-1} \quad 2^0 \quad 2^1 \quad 2^2 \quad 2^3}{1/16 \quad 1/8 \quad 1/4 \quad 1/2 \quad 1 \quad 2 \quad 4 \quad 8}$$

Empleando el logaritmo en base 2 del diámetro:

$$\Phi = -\log_2 \text{ diámetro(mm)}$$

Se coloca $-\log_2$ del diámetro para trabajar con números positivos en las clases más comunes.

Clasificación de rocas sedimentarias por el tamaño de los clastos				
según WENTWORTH			según DIN 4022	
Grano diámetro (mm)	Subdivisión	Denominación (roca)	Clasificación según DIN 4022	Grano diámetro (mm)
0,0002 mm	pelífica	Coloide	Arcilla	
0,002 mm		fina		
0,02 mm	psa- mítica	gruesa	Limo	fino
0,2 mm		fina		medio
2mm	gruesa	Arena		grueso
2cm	psefífica		Grava	fino
20 cm	psefífica	fina	Gravas	medio
		gruesa		grueso
		Bloques		Piedras

WG98/SED4022A.cdr

ESCALA PHI ($\phi = -\log_2 d_{mm}$)

Clasificación granulométrica de los sedimentos epiclásticos

		mm	ϕ	
		↑	↑	
PSEFITAS	Aglomerado	— 1024	— -10	
		— 512	— -9	
	—————		256	— -8
	Grava	Gruesa	— 128	— -7
		—————	64	— -6
		Mediana	— 32	— -5
	Sábulo	—————	16	— -4
		Fina	— 8	— -3
		—————	4	— -2
	PSAMITAS	Muy Gruesa	2	— -1
—————		1	— 0	
Gruesa		0,5	— 1	
Mediana		0,25	— 2	
Fina		0,125	— 3	
Muy Fina		0,062	— 4	
Grueso		0,031	— 5	
PELITAS	Limo	— 0,015	— 6	
		Fino	— 0,0078	— 7
	—————	0,0039	— 8	
	Arcilla	— 0,0020	— 9	
		↓	↓	

Figura 1: Escalas y Clasificaciones Granulométricas

1.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE PSEFITAS Y PSAMITAS: MÉTODO DE TAMIZADO

INTRODUCCIÓN:

El diámetro 0,062 mm (1/16), es en general el escogido para separar los sedimentos gruesos de los finos, aunque este límite puede ser diferente según sean para trabajos de geología aplicada, ingeniería civil, pedología, etc.

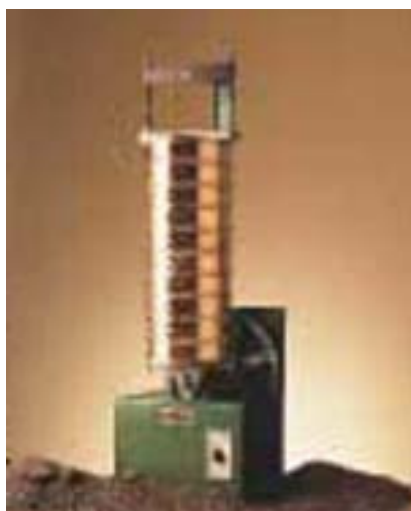
La técnica de tamizado es sencilla; a través de tamices con mallas de diferentes aberturas (que corresponden a la escala de Udden - Wentworth) y ordenadas en forma decreciente, se hace pasar el sedimento habiéndolo pesado previamente.

En cada uno de los tamices se recoge material, se pesa el material retenido por cada tamiz, conociéndose de esta forma el peso (y el porcentaje) de cada clase granulométrica.

Materiales y Procedimiento

Para realizar el tamizado de una muestra se necesitan los siguientes materiales:

- pila de tamices
- rotap
- pincel
- balanza de precisión (mg)



El sedimento debe estar **desagregado** y **seco**.

Procedimiento

- a) Armar la pila de tamices con los intervalos deseados, y ordenarlos de arriba abajo desde el más grueso al más fino, con el ciego en el fondo
- b) Elaborar una planilla por muestra para indicar los pesos iniciales, retenidos y final
- c) Pesar la cantidad de sedimento a ser analizado
- d) Volcar el sedimento en el tamiz superior (el de mayor abertura), tratando de no formar nubes de polvo
- e) Colocar la pila de tamices en el rotap. Encender el equipo en la frecuencia que se indique. El tiempo de tamizado será de 10' por muestra
- f) Vaciar el contenido de cada tamiz, con la ayuda de un pincel fino o grueso dependiendo de la abertura del tamiz y pesar el material de cada tamiz. Tener cuidado en esta limpieza, ya que pueden generarse errores que influirán en los resultados
- g) Los sedimentos finos recogidos en el tamiz ciego, eventualmente podrán ser analizados por otros métodos (hidrómetro, pipeteo o difracción de rayos X)

h) Guardar la muestra

La diferencia entre el peso inicial de la muestra y la sumatoria de todos los intervalos no debe de ser superior al 3%, que es el error aceptado para el método. La pérdida de material deberá repartirse en forma proporcional entre las fracciones existentes. Si la diferencia es mayor del 3%, se deberá rehacer el análisis granulométrico del sedimento.

1.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE PELITAS: ENSAYO HIDROMÉTRICO

INTRODUCCIÓN:

El análisis hidrométrico se utiliza para determinar la distribución del tamaño de los sedimentos que pasan el tamiz No. 200 (menores de 0,075 mm de diámetro). Este ensayo se basa en el principio de la sedimentación de partículas en agua, donde las mismas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos. Asumiendo esfericidad de los sedimentos, la velocidad de las mismas se expresa por la *ley de Stokes*, según la cual

$$v = (\rho_s - \rho_w / 18 \eta) \cdot D^2,$$

donde v representa la velocidad, ρ_s es la densidad de las partículas de suelo, ρ_w corresponde a la densidad del agua, η es la viscosidad del agua y D representa el diámetro de las partículas.

Despejando esta ecuación y combinándola con $v = L / t$ y $\rho_s = G_s \rho_w$, donde L es distancia, t es tiempo y G_s es la densidad de sólidos, se obtiene:

$$D \text{ (mm)} = K \sqrt{L \text{ (cm)} / t \text{ (min)}}$$

$$\text{donde } K = \sqrt{30 \eta / (G_s - 1)}$$

El funcionamiento del hidrómetro o densímetro se basa en el principio que establece que un cuerpo sumergido en un líquido sufre un empuje hacia arriba igual a la masa del líquido que es desplazado. El densímetro tiene un bulbo inferior relleno de plomo o mercurio y flota en la disolución a medir. Cuando se sumerge en la suspensión de sedimentos, la varilla graduada se eleva verticalmente dando una lectura de la densidad de sólidos alrededor del bulbo a una profundidad L (distancia al centro del bulbo). La densidad de sólidos es una función de la cantidad de sedimentos presentes por volumen unitario de suspensión en esa profundidad. Las partículas de mayor tamaño que aquellas que se encuentran aún en suspensión en la zona entre el centro del bulbo y la superficie del agua, habrán decantado. Esto hace decrecer la gravedad específica de la suspensión en el centro del volumen del hidrómetro. A medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión aumenta la distancia L .

En el práctico se realizará un ensayo hidrométrico aplicando la Norma ASTM D 422 - 63 "Métodos estándar para análisis del tamaño de partículas del suelo". Dicha norma establece que el ensayo debe realizarse mezclando la muestra de suelo con una solución de agente dispersante en agua destilada en una relación de 40 g de agente dispersante por litro de solución. Luego, la mezcla se homogeniza y se coloca en una probeta de 1000 ml (que funcionará como cilindro de sedimentación), agregándose cilindro de sedimentación de vidrio y agua destilada hasta que el volumen total es de 1000 ml. Posteriormente, se sumerge el hidrómetro en la suspensión de sedimentos.

Durante el ensayo es necesario verificar que la temperatura del líquido se mantenga constante, evitando así errores en la lectura del hidrómetro. Debido al menisco formado por el líquido sobre el hidrómetro, se deben aplicar correcciones a las lecturas que se efectúen.

En la figura 2 se presentan un esquema y una fotografía donde se observa un hidrómetro sumergido en la solución contenida en una bureta.

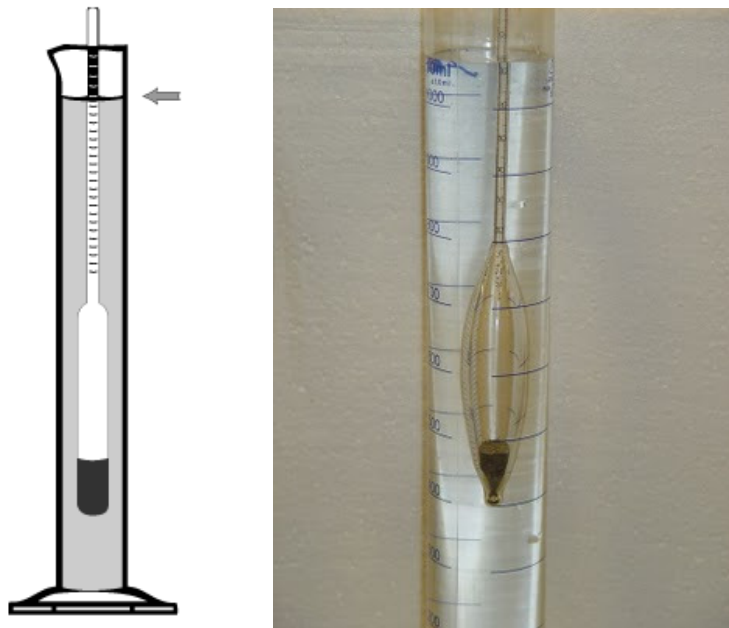


Figura 2: A la izquierda, esquema de un hidrómetro sumergido en una solución contenida en una probeta. La flecha indica el nivel donde se realiza la lectura de la densidad. A la derecha, hidrómetro, similar al empleado en el ensayo, sumergido en una solución.

Materiales y Métodos

En primer lugar, se mezcló una muestra de un sedimento fino con un agente dispersante (calgón). Se dejó reposar durante 16 horas. Para comenzar el ensayo, la solución se bate durante 15 minutos, a efectos de homogenizarla. Posteriormente, la muestra se vierte en una probeta y se completa hasta 1000 ml con agua destilada. Las mediciones de densidad se toman en tiempos progresivos correspondientes a 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 y 120 minutos. En cada medida de densidad se debe introducir y quitar el hidrómetro con sumo cuidado y realizar mediciones de temperatura.

Una vez obtenidos los datos, se calcularon los porcentajes de sedimento en suspensión en cada tiempo. Para esto se utilizó $P = [(R \cdot a) / W] \cdot 100$, donde P representa el porcentaje en suspensión, R representa la lectura del hidrómetro, a es el factor de corrección que se debe aplicar a la lectura y W corresponde a la masa del sedimento. El valor de a fue extraído de la tabla 1 presentada en la Norma ASTM D 422 para un valor de peso específico de 2.7. En este cálculo se deben aplicar las

correcciones por agente dispersante ($C_d = 2.0 \text{ g/L}$), por menisco ($C_m = 0.1 \text{ g/L}$) y por temperatura (C_t), de forma que $R_{real} = R + C_m - C_d \pm C_t$.

Posteriormente, a partir de los valores de densidad corregidos se determinan las distancias al centro del bulbo en cada momento considerado. Para esto se debe considerar la calibración del hidrómetro utilizado en el ensayo.

Luego, se realizan los cálculos para determinar el diámetro de las partículas en suspensión correspondientes a los porcentajes previamente calculados. Se emplea la relación $D = K \cdot \sqrt{L / T}$, donde D representa el diámetro de las partículas, T es el intervalo de tiempo desde el inicio de la sedimentación y K corresponde a una constante que depende de la temperatura de la suspensión y del peso específico de las partículas de suelo. Los valores de K se extraen de la tabla 3 que proporciona la Norma ASTM D 422, a partir de los valores de temperatura medidos y considerando un peso específico unitario de las partículas de suelo de 2,7. Todas las constantes y correcciones se brindan en la norma.

Finalmente, se grafican los porcentajes en suspensión en relación a los diámetros de las partículas para obtener las curvas de distribución del tamaño de partículas. Se recomienda organizar los datos en tablas como las que se muestran a continuación.

Tabla 1: Lecturas no corregidas del hidrómetro a tiempos progresivos.

Tiempo (minutos)	Densidad (g/L)
1	
2	
4	
8	
15	
30	
60	
120	

Tabla 2: Valores de densidad con correcciones por menisco, por temperatura y por dispersante ya aplicadas.

Tiempo (minutos)	Densidad (g/L)
1	
2	
4	
8	
15	
30	
60	
120	

Tabla 3: Porcentajes de sedimentos en suspensión calculados, correspondientes a los intervalos de tiempo considerados.

Tiempo (minutos)	% Sedimentos en suspensión
1	
2	
4	
8	
15	
30	
60	
120	

Tabla 4: Distancia al centro del bulbo correspondiente a los intervalos de tiempo considerados.

Tiempo (minutos)	Distancia al centro del bulbo (cm)
1	
2	
4	
8	
15	
30	
60	

Tabla 5: Diámetro mayor de los sedimentos en suspensión correspondientes a los intervalos de tiempo en que se realizó la lectura del hidrómetro.

Tiempo (minutos)	Diámetro de sedimentos (mm)
1	
2	
4	
8	
15	
30	
60	
120	

2. REPRESENTACIONES GRÁFICAS Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

2.1 REPRESENTACIONES GRÁFICAS

INTRODUCCIÓN:

Una vez obtenidos los datos del ensayo granulométrico, el análisis puede resultar de:

- 1 - graficar los resultados obtenidos e interpretarlos
- 2 - obtener los parámetros estadísticos a partir del análisis matemático de los datos.

La mayor parte de los usuarios opta por la primera opción, pues son más sencillos que los cálculos y facilitan la visualización, comprensión e interpretación de los datos.

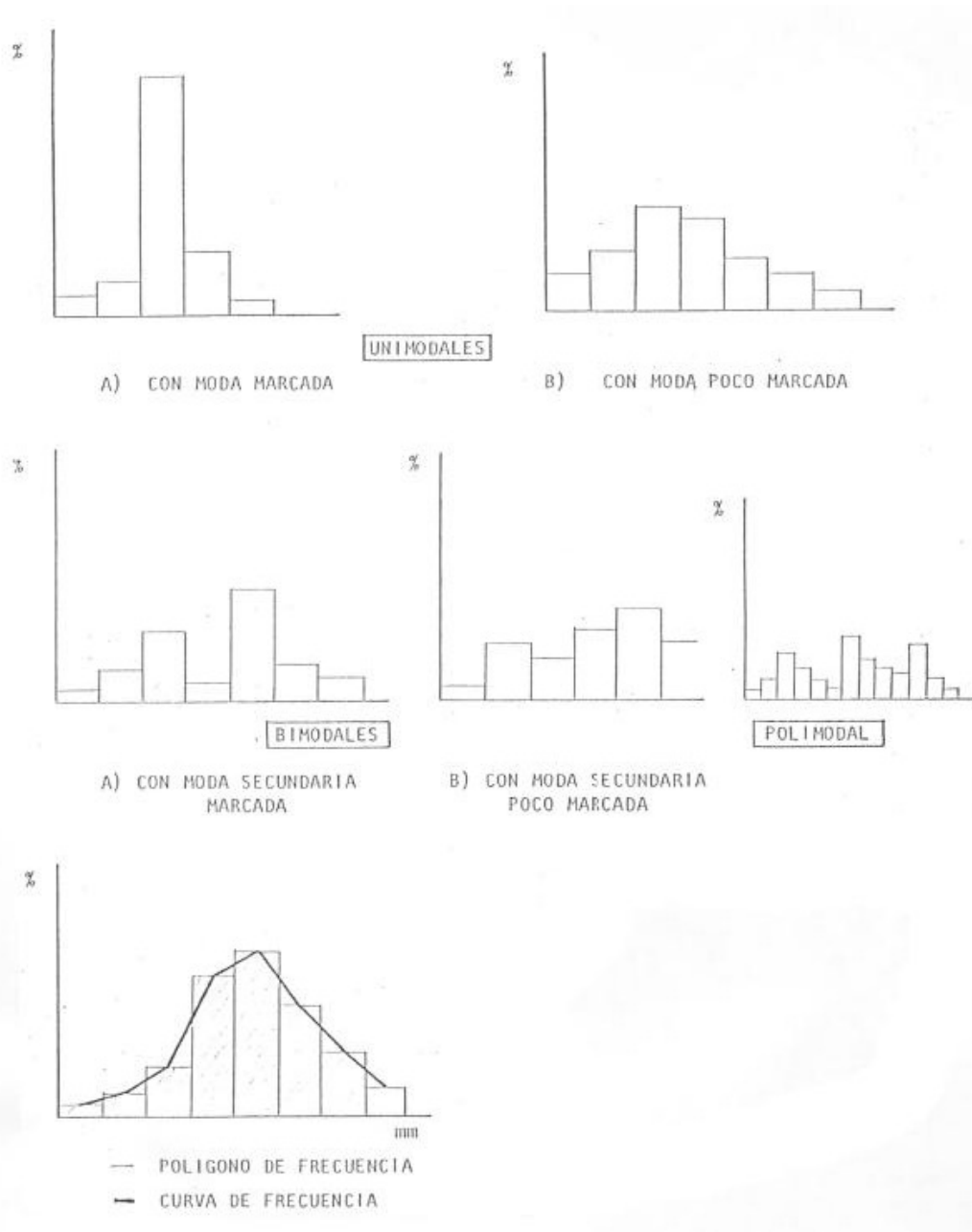
Lo primero a considerar es la elección de la escala de trabajo, luego elegir el gráfico con el que trabajar, que dependerá de los objetivos que se persigan luego de efectuado el análisis de los datos.

La representación gráfica de los tamaños se realiza mediante histogramas, curvas de frecuencia, curvas acumulativas, siendo las más utilizadas por los geólogos las curvas de frecuencia y de frecuencia acumulativa. La escala de frecuencia que inicialmente se representaba en la escala aritmética, poco a poco está siendo sustituida por la escala de probabilidad.

Histograma. Es un diagrama de barras, en donde el área de cada una es proporcional a la cantidad de material presente en cada clase. Es la manera más simple de representación gráfica de datos estadísticos.

En un histograma, el diámetro (mm o en escala logarítmica) se expresa en abscisas (variable independiente), y en las ordenadas se grafica la frecuencia o el % del peso total (variable dependiente)

El histograma permite una rápida visualización de las características generales del sedimento, pero no permite obtener parámetros importantes con fines estadísticos, además la representación se encuentra muy influenciada por los intervalos de clases elegidos.



Polígonos de frecuencia. Es un diagrama de frecuencia, que en lugar de barras se construye en forma lineal. La frecuencia correspondiente a cada diámetro se marca en el intervalo del punto medio del intervalo de clase. Los puntos se unen con segmentos de recta. Su uso es relativamente bajo, pues requieren de una variación en forma continua de los datos.

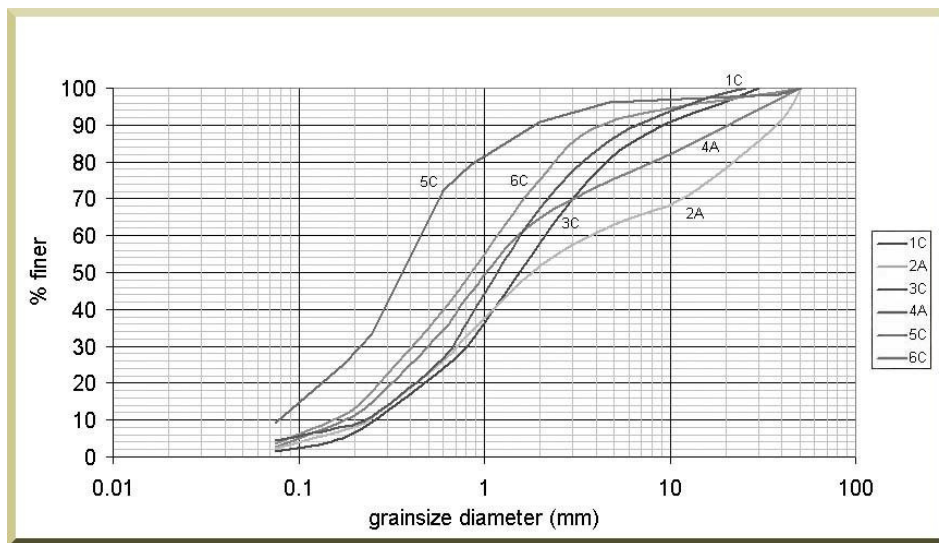
Curva de frecuencia acumulada. Con los datos del histograma, se construye; planteando en ordenadas la escala de frecuencias de 0 a 100% y en abscisas una escala de diámetro aritmética o logarítmica. En este tipo de gráficos se independiza el problema de la desigualdad de los intervalos.

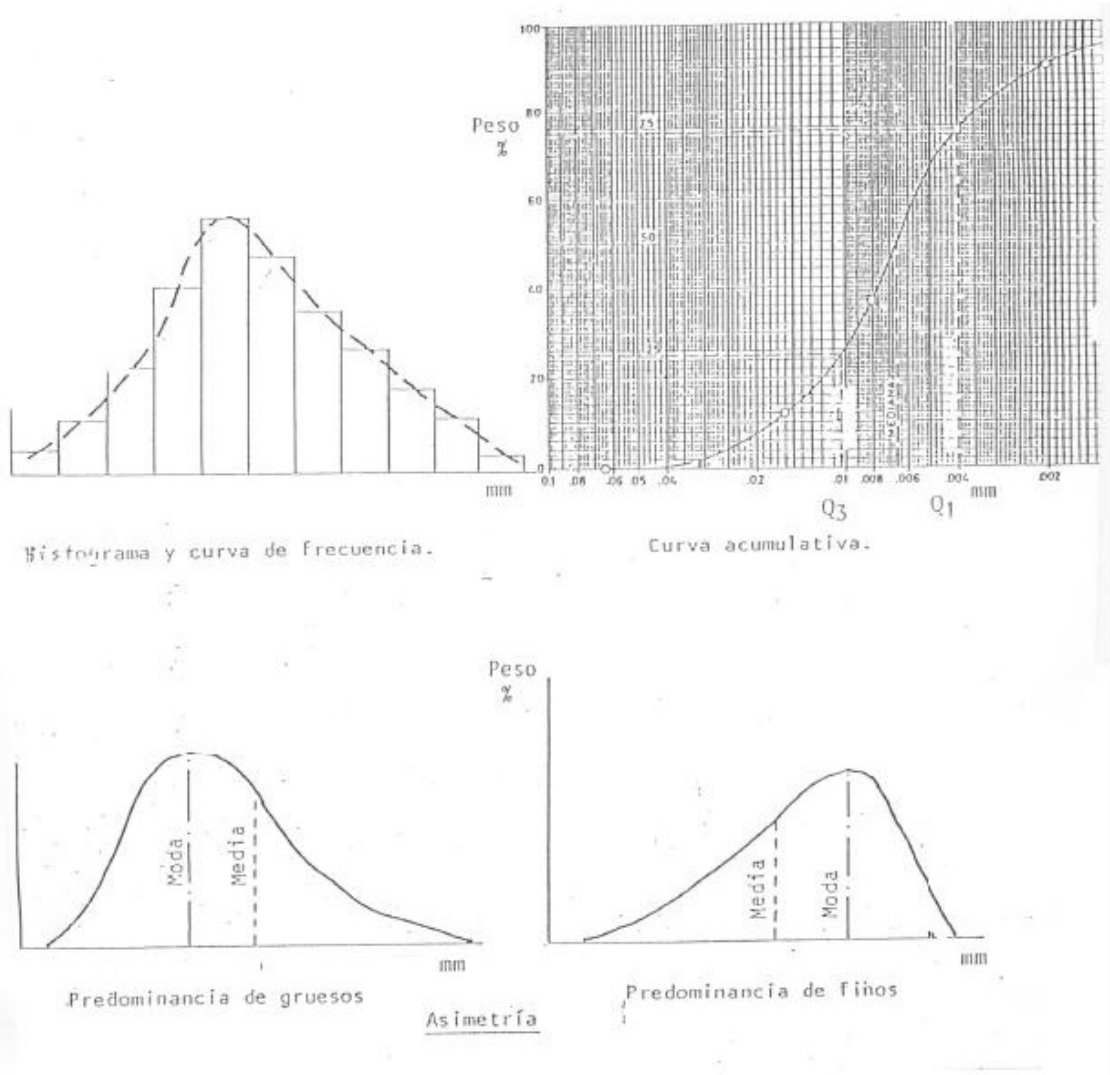
Esta curva es equivalente a ir colocando cada barra del histograma arriba y a la derecha de la inmediata anterior. Si esto se realiza rigurosamente se obtendrá un diagrama escalonado, y es por esto que se acostumbra a graficar solamente los

puntos que corresponderían al diámetro de cada intervalo, uniendo por último dichos puntos con una curva suave.

Este tipo de curva son las de mayor uso en estadística, dadas la posibilidades para obtener los parámetros más importantes.

Curva de frecuencia acumulativa en papel de probabilidades. La curva puede graficarse usando una escala logarítmica para abscisas y una escala de probabilidades para ordenadas. En ésta, a partir de un valor central de 50%, el espaciado va aumentando a medida que los valores tiendan a 0 % y a 100 %. De esta forma es que se produce una normalización en los extremos de la distribución. En este tipo de representación gráfica, la más utilizada en los últimos años es que puede visualizarse por ejemplo el efecto producido en el cambio de método de análisis granulométrico (tamizado; pipeteo; difracción de rayos-X; etc.)





2.2 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

INTRODUCCIÓN:

Las medidas estadísticas se agrupan en cuatro categorías:

- 1 - Tendencia central
- 2 - Dispersión
- 3 - Asimetría
- 4 - Agudeza o Kurtosis

Mediana	$Md = P50$ $Md = \phi 50$
Media	$M = (P75 + P25) / 2$ $Mz = (\phi16 + \phi50 + \phi84) / 3$ $M\phi = (\phi16 + \phi84) / 2$
Selección	$Qd = (P75 - P25) / 2$ $S_o = (P25/P75)^{1/2}$ $\sigma\phi = (\phi84 - \phi16) / 2$ $\sigma1 = (\phi84 - \phi16) / 4 + (\phi95 - \phi5) / 6,6$
Agudeza	$K_g = (P75 - P25) / 2 (P90 - P10)$ $K_g = (\phi95 - \phi5) / 2,44$ $(\phi75 - \phi25)$
Asimetría	$Ska = (P75 + P25 - 2Md) / 2$ $Sk = \sqrt{(P75 * P25) / Md^2}$ $\alpha\phi = (M\phi - Md\phi) / \sigma\phi$ $Sk1 = \{(\phi16 + \phi84 - 2\phi_{50}) / 2 (\phi84 - \phi16)\} + \{(\phi5 + \phi95 - 2\phi_{50}) / 2 (\phi95 - \phi5)\}$

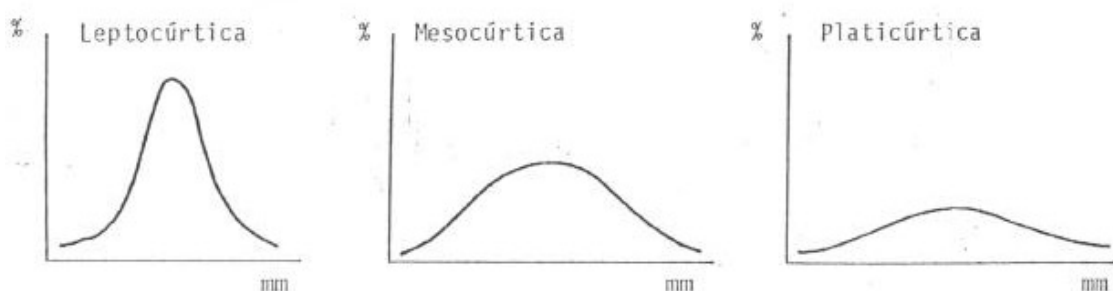
Las medidas de tendencia central, indican el tamaño medio de los granos y en términos energéticos se traduce por la energía cinética media del ambiente sedimentario.

Las medidas de dispersión, donde las más importantes son el *sorting* o la desviación estándar, miden la desviación en la clasificación de un sedimento e indican las oscilaciones en la energía cinética en el ambiente sedimentario respecto a su valor medio.

Las medidas de asimetría, dan la asimetría en la distribución de frecuencia, marcando la posición de la media respecto a la mediana; si la media se desplaza hacia los tamaños gruesos, la asimetría es negativa e indica que las variaciones de la energía cinética media se desplazó hacia los valores más altos de lo normal; en el caso contrario hablamos de asimetría positiva.

Las medidas de angulosidad, dan la agudeza de la curva de frecuencia como la relación de la proximidad entre los valores extremos centrales, generalmente 50% central y los valores externos generalmente en el 90%.

Las curvas angulosas indican que las oscilaciones de la energía cinética media se restringen al 50% central durante un tiempo superior al normal.



Valores límites de la desviación standard, asimetría y curtosis para los coeficientes de Folk y Ward (1957).

DESVIACIÓN STANDARD	CURTOSIS	ASIMETRÍA
Extremadamente mal seleccionado ----- 4,00 -----	Extremadamente leptocúrtica ----- 3,00 -----	----- 1,00 ----- Muy asimétrica positiva
Muy pobremente seleccionado ----- 2,00 -----	Muy leptocúrtica ----- 1,50 -----	----- 0,30 ----- Asimétrica positiva
Pobremente seleccionado ----- 1,00 -----	Leptocúrtica ----- 1,11 -----	----- 0,10 ----- Simétrica
Moderadamente seleccionado ----- 0,70 -----	Mesocúrtica ----- 0,90 -----	----- -0,10 ----- Asimétrica negativa
Moderadamente bien seleccionado ----- 0,50 -----	Platicúrtica ----- 0,67 -----	----- -0,30 ----- Muy asimétrica negativa
Bien seleccionado ----- 0,35 -----	Muy platicúrtica	----- -1,00 -----
Muy bien seleccionado		

Materiales y Métodos

Con los resultados de los ensayos granulométricos realizados hacer un análisis estadístico para cada muestra, realizando histogramas, curvas de frecuencia acumulativa y los cálculos de los parámetros para interpretar el conjunto de datos.

