

METODOS DE PREPARACION DE SEDIMENTOS CLASTICOS PARA SU
ESTUDIO MICROSCOPICO. I. Tratamientos previos.*

Hetty Bertoldi de Pomar
Instituto Nacional de Limnología
José Maciá 1933 - Santo Tomé - Santa Fe

RESUMEN

El presente trabajo constituye un manual práctico de técnicas recomendadas para preparar suelos, arenas y sedimentos no consolidados en general, para el reconocimiento microscópico de sus componentes minerales.

Se seleccionaron las técnicas probadamente eficientes o adecuadas según su aplicación. En cada caso, se aportan las sugerencias que la experiencia personal de la autora recomienda para el éxito de la operación respectiva.

SUMMARY

This paper is a practical manual, dealing with suitable techniques for preparing soils, sands and unconsolidated sediments in general, to be microscopically studied. The most efficient or adequate techniques are described. In each case, author's personal experience is added to the established techniques. Graphic schemes of each device and its proper handling, as well as the general flow sheet, are included.

INTRODUCCION

El conocimiento de la composición mineralógica y micropaleontológica de una roca sedimentaria clástica no consolidada, incluyendo en este concepto a los suelos, puede conducir al logro de variados objetivos. De ellos, los más importantes son: caracterizar su asociación mineral y micropaleontológica, determinar su área distributiva o provincia petrográfica, reconocer los tipos de sus rocas de procedencia, determinar la ubicación geográfica de estas rocas generadoras, identificar el agente de transporte actuante, el mecanismo de depositación y su evolución postdeposicional.

* Presentado en la Reunión de Comunicaciones Científicas del 8 de mayo de 1976.

Cualquiera sea el objetivo perseguido, resulta indispensable la identificación de las especies minerales y microfósiles, tanto como su estado de conservación, morfometría y desgaste. Ello exige que el material se halle en condiciones óptimas para la observación microscópica, ya que el mero reconocimiento de sus caracteres megascópicos resulta generalmente insuficiente para tales fines, en especial cuando se trata de arenas, suelos u otros materiales finos.

Para el logro de estas condiciones, en la mayoría de los casos resulta indispensable someter la muestra a tratamientos previos de desagregación, limpieza y clasificación, capaces de eliminar toda sustancia extraña que aglomere los granos o encubra su aspecto natural, sin afectarlos física o químicamente.

Múltiples son los procedimientos empleados o propuestos, según la finalidad perseguida en cada caso. A pesar de ello, es notable la carencia de una bibliografía específica en castellano, circunstancia que nos ha inducido a elaborar este trabajo.

Se incluyen en él los métodos más recomendados por su simplicidad, eficiencia y rapidez, aplicando el criterio que la experiencia personal nos ha señalado en la mayoría de los casos.

De este modo se simplifica la búsqueda del procedimiento adecuado, al mismo tiempo que se favorece su aplicación correcta de acuerdo al objetivo.

Se da al presente compendio el carácter de guía práctica, por cuanto se obvian los fundamentos teóricos, desarrollados intensamente en los textos de la lista adjunta, los cuales a su vez, poseen una bibliografía específica muy completa.

SECUENCIA OPERATORIA

La naturaleza del material y la finalidad del estudio respectivo permitirá que se obvie alguno de los pasos a seguir, hecho que será determinado por el criterio del operador.

En la Fig. 1, se ilustra la secuencia operatoria general, desarrollándose aquí las técnicas comprendidas hasta la separación densimétrica. La obtención de los distintos tipos de preparados microscópicos será motivo de una próxima comunicación.

I.- OBTENCION DE LA MUESTRA

A. En campaña

- | | | |
|-------------|--|--|
| 1. Muestreo | $\left. \begin{array}{c} \text{puntual} \\ \circ \\ \text{seriado} \end{array} \right\}$ | muestras simples o discretas |
| | | $\left. \begin{array}{c} \circ \\ \text{muestras compuestas} \end{array} \right\}$ |

B. En laboratorio

- 1.- Secado .
- 2.- Trituración (molienda) de terrones
- 3.- Obtención de la alícuota

II.- TRATAMIENTO PRELIMINAR DEL MATERIAL

- 1.- Eliminación de sales solubles
- 2.- Destrucción de materia orgánica
- 3.- Desagregación
- 4.- Eliminación de barnices y cementos

III.- CLASIFICACION PREVIA

- 1.- Separación granulométrica
 - a) tamizado
 - b) sifonado
- 2.- Separación densimétrica
 - a) bateado
 - b) líquidos pesados
- 3.- Separación magnética
- 4.- Separación electrostática
- 5.- Separación dieléctrica
- 6.- Otros métodos de separación:
 - a) por la forma de los granos
 - b) por las propiedades de superficie

I.- OBTENCION DE LA MUESTRA

Es obvio señalar la importancia que reviste la adecuada obtención de la muestra a estudiar, ya que de ella depende el éxito de la investigación posterior.

Al decir de algunos autores "el muestreo es un arte" y como tal debe practicarse.

A) En campaña *

1.- Muestreo:

El primer empeño debe ponerse en la obtención de la muestra inicial en campaña, ya que ésta debe ser lo más representativa posible de la unidad litológica que interesa estudiar. Debe estar libre de contaminaciones y debe ser del tamaño adecuado al tipo de investigación a desarrollar después. Siempre será preferible un exceso que un déficit de muestra.

Este primer paso exige del operador una serie de cualidades

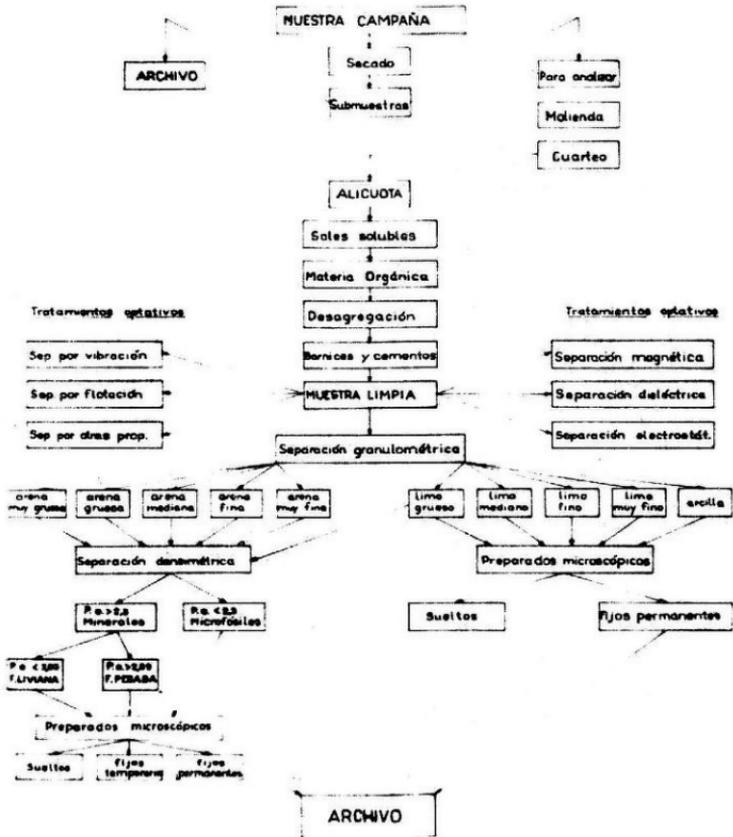


Fig. 1. - Secuencia operativa

personales, independientemente de sus conocimientos teóricos o prácticos: agudo sentido de observación, intuición, prolijidad operativa, etcétera.

Las técnicas a emplearse para extraer una muestra difieren según se trate de un material de superficie, de subsuelo o del fondo de un cuerpo de agua. Para cada caso se han ideado dispositivos adecuados, cuya descripción e instrucciones de manejo escapan a la índole de este trabajo.

El método de muestreo de campaña depende de la finalidad de la investigación posterior; una simple muestra puede servir para caracterizar una unidad deposicional de aparente homogeneidad lateral y vertical, pero generalmente son más representativas las muestras múltiples, obtenidas por un muestreo numeroso a través del área en estudio.

En el primer caso, considerado como muestreo puntual, la principal precaución que debe tomarse es la de no incluir porciones meteorizadas o contaminadas de alguna manera. Por ello, si se trata de un muestreo superficial, conviene siempre extraer la muestra por debajo de los horizontes meteorizados. Si el afloramiento corresponde a un corte natural o artificial antiguo del terreno, debe practicarse previamente una cuidadosa limpieza por raspado de la superficie expuesta. Una vez extraída, esta muestra simple o discreta, que debe pesar alrededor de 1000 gramos, se preserva en un envase adecuado, debidamente rotulado.

En el caso de hacerse un muestreo múltiple o seriado, éste debe planificarse de tal modo que los puntos de muestreo se dispongan a intervalos regulares sobre el terreno. La frecuencia y distancia entre estos puntos depende de la extensión de la unidad litológica, de la homogeneidad de la misma, del tiempo disponible y del grado de exactitud requerido por la investigación. Todas las muestras simples así obtenidas pueden conservarse como tales, o bien mezclarse para constituir lo que se llama una muestra compuesta.

Además, en cada punto de muestreo se puede tomar una muestra simple o una muestra compuesta, resultante de un mínimo de cuatro muestras simples. Generalmente se considera que las muestras múltiples obtenidas mediante un muestreo seriado, son más representativas de la unidad en estudio.

De este modo resulta que un muestreo puede ser a) puntual con muestra simple (Fig. 2); b) puntual con muestra compuesta (Fig. 3); c) seriado con muestras simples (Fig. 4) o d) seriado con muestras compuestas (Fig. 5).

Todo muestreo debe ser cuidadosamente planificado y realizado, teniendo en cuenta las posibilidades de repetirlo, ya que su procesado posterior en el laboratorio puede señalar errores o sugerir dudas. Con los mismos fines, es importante, además, que las

muestras extraídas se envasen y rotulen debidamente evitando que se contaminen entre sí o con el medio ambiente, o bien que se pierdan las referencias de ubicación y otros datos importantes consignados en el rótulo.

B) En laboratorio

1.- Secado:

El primer requisito que debe llenarse a la llegada de una muestra al laboratorio, es el de procurar su correcto secado. De esta manera resulta apta para proporcionar una alícuota para el archivo y las necesarias para su estudio posterior.

El secado debe practicarse a temperatura moderada y en lo posible en ambientes libres de contaminaciones. El secado al sol puede ser recomendable, siempre que la exposición se practique en lugares protegidos del viento y del paso de vehículos.

Debe evitarse la manipulación simultánea de numerosas muestras de diferente procedencia, la proximidad de maquinarias que producen polvos (molinos) y toda otra causa de contaminación.

Si se dispone de secaderos, la temperatura a emplearse debe estar condicionada por las propiedades del material y el tipo de investigación a practicar. En general, no conviene sobrepasar los 60° C, para evitar la deshidratación de los minerales arcillosos, afectando su expandibilidad en favor del aterronamiento del material. Tratándose de arenas o materiales más gruesos, el secado puede efectuarse a 100-110° C, lo que reduce el tiempo de secado desde dos a tres días en el primer caso, hasta pocas horas en el segundo.

Cualquiera sea el método de secado que se adopte, la muestra debe distribuirse uniformemente sobre una bandeja de fondo plano, tratando de que el espesor de la capa sea lo más reducido posible (alrededor de 2 cm). Para acelerar el proceso, conviene remover periódicamente esta capa con una espátula, emparejando nuevamente la superficie.

2.- Trituración:

Algunas rocas sueltas pueden presentarse con cierto grado de compactación, generalmente en forma de terrones de variada consistencia, debidos a la presencia de abundantes partículas muy finas, o a la incorporación postdeposicional de sustancias diversas.

Para facilitar las operaciones subsiguientes y aún para acelerar el secado de la muestra, ésta se tritura moderadamente con rodillos manuales o molinos mecánicos, hasta un tamaño de grano tal que no afecte las partículas clásticas, previa apreciación ocular del tamaño máximo de los granos individuales.

Este problema se presenta generalmente en los suelos y otros materiales arcillosos.

Cuando la compactación se debe a cementación por precipitados químicos este procedimiento no es válido.

3.- Obtención de la alícuota

La siguiente preocupación debe consistir en obtener una alícuota representativa de la muestra, de tamaño adecuado para que los fraccionamientos posteriores proporcionen cantidades suficientes para cuantificar finalmente las especies minerales o microfósiles.

Teniendo en cuenta que los sedimentos no consolidados tienden a seleccionarse durante su transporte, de modo tal que los minerales más pesados tienden a concentrarse en el fondo del envase, el método más práctico de obtener una alícuota representativa es el de cuarteo. Este puede ser manual o mecánico, debiendo realizarse siempre sobre la muestra total.

La manera más simple de practicar un cuarteo manual consiste en extender toda la muestra de campaña sobre una superficie lisa, preferentemente una lámina de papel, cartulina, metal o madera, tratando de darle una distribución circular lo más uniforme posible. La superficie cubierta se divide luego en cuatro áreas iguales, mediante el trazado de dos líneas perpendiculares que se crucen en el punto central, por medio de una varilla, el cabo de un pincel o simplemente con el dedo. Con la ayuda del pincel se retira el material de dos cuadrantes opuestos (A y C; o B y D en Fig. 6), se mezcla y redistribuye sobre el papel el material restante, y se repite la operación hasta reducir la muestra a la alícuota adecuada.

Existen cuarteadores mecánicos, como los que se ilustran en las figuras 7 y 8, que permiten una rápida operatividad, según los mismos principios que en el cuarteo manual.

II.- TRATAMIENTO PRELIMINAR

Para que un sedimento clástico adquiriera las condiciones óptimas para su estudio mineralógico y micropaleontológico, las muestras deben ser sometidas a los tratamientos señalados en la secuencia operatoria, y preferentemente en el orden indicado.

La naturaleza del sedimento y el criterio del operador determinarán cuándo puede obviarse alguno de los tratamientos indicados sin detrimento del éxito de la investigación.

La magnitud de la alícuota necesaria depende fundamentalmente de la naturaleza del sedimento y del aspecto a investigar.

Si se trata de una arena son necesarios 50 gramos de muestra original, para obtener fracciones suficientes para el examen mi-

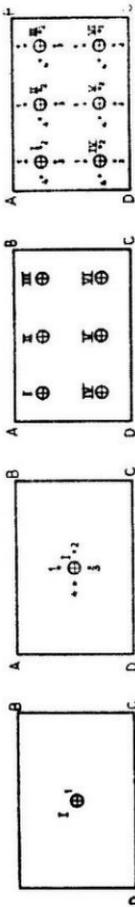


Fig 2 - Muestreo puntual simple Fig 3 - Muestreo puntual compuesto Fig 4 - Muestreo seriado simple Fig 5 - Muestreo seriado compuesto

Figs 2 a 5 ABCD área de muestreo (Bla) (B) (C) (D) puntos de muestreo, 1, 2, 3, 4, muestras simples Muestra compuesta

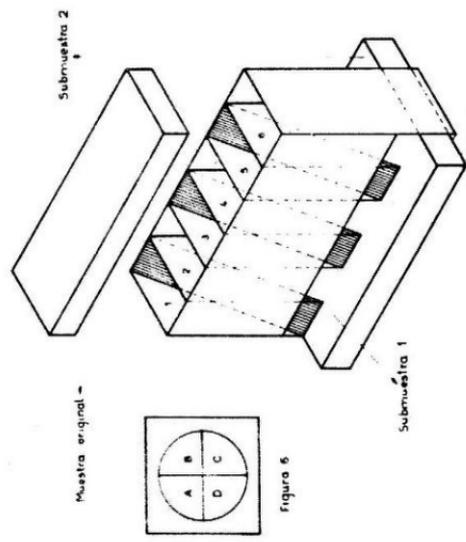


Figura 6

Fig 7 Cuarteador

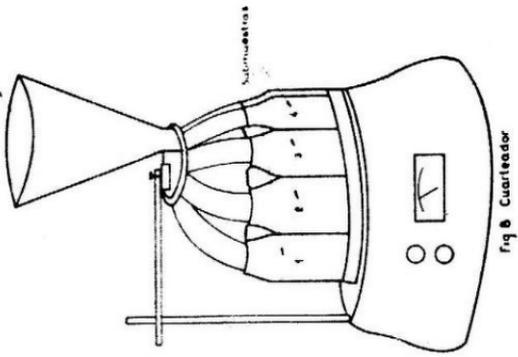


Fig 8 Cuarteador

neralógico (que se practica sobre granos mayores a 40 micrones de diámetro). Con la misma finalidad, serán necesarios 100 gramos de muestra original si se trata de un suelo o de materiales limo-arcillosos.

Si lo que interesa fundamentalmente es el análisis granulométrico o el reconocimiento micropaleontológico, se necesitan las cantidades inversas para cada caso.

1.- Eliminación de sales solubles

Si se advierte la presencia de sales solubles es suficiente lavar repetidamente el material con agua destilada, hasta su eliminación total. Para ello, conviene colocar la muestra en un vaso de precipitado tipo Griffin (relación alto/diámetro: 2/1) que es apto para otras operaciones subsiguientes. Con recipientes de este tipo y capacidad se reducen al mínimo los lavados.

Resulta conveniente practicar esta operación por lo menos una vez en frío y otra vez en caliente, atendiendo a las diferencias de solubilidad según temperaturas que pueden presentar las distintas sales presentes. En ningún caso se recomienda la ebullición, sino sólo un calentamiento moderado.

Si solamente interesa investigar las arenas, desechando las restantes fracciones, es eficaz el simple lavado con abundante agua destilada, sobre el tamiz respectivo según la escala de clasificación granulométrica que se adopte (Fig. 9).

Si interesa retener arenas y limos, desechando las arcillas, el lavado puede practicarse agregando agua destilada a la muestra convenientemente colocada en el vaso de precipitado, agitando en frío y en caliente. Luego de decantar durante 2 horas 5 minutos, tiempo que necesitan las partículas de limo (según escala de Wentworth: 3,9 - 62,5 micrones de diámetro) para descender 10 cm en una columna de agua, se sifona a esa profundidad (Fig. 10). Conviene repetir esta operación tantas veces como sea necesario, hasta eliminar tanto las sales como las arcillas.

Una manera muy simple de detectar la presencia de sales en la solución de lavado consiste en dejar evaporar, calentando, unas gotas de ésta sobre una cuchara de metal (u otro material apto para este fin). El residuo de las sales que precipitan se advierte generalmente por su color blanquecino. Determinaciones más afinadas se logran mediante el empleo de conductímetros, aparatos de alta sensibilidad basados en la elevada conductibilidad eléctrica que caracteriza a las soluciones salinas.

Por otra parte, la eliminación de las arcillas se considera lograda cuando, luego del tiempo de decantación estipulado, el agua sobrenadante del nivel adoptado (10 cm de profundidad) permanece perfectamente límpida.

Por último, se se desea retener la muestra total, el lavado debe hacerse por filtración, llevando la muestra a filtro de vacío tipo Buchner (Fig. 11) o bien utilizando filtros porosos tipo Chamberland (Fig. 12). Los últimos tienen la ventaja de poder sumergirse en el mismo recipiente en que se practicarán los subsiguientes procesados. Ambos tipos de filtración permiten un lavado continuo, regulando la entrada de agua de acuerdo a la capacidad de evacuación del filtro respectivo.

2.- Eliminación de materia orgánica:

Si la muestra contiene restos orgánicos macroscópicos, éstos pueden eliminarse fácilmente por procedimientos manuales, tamizando en seco y preferentemente antes de la obtención de la alícuota de la muestra de campaña, con malla de abertura superior al diámetro de las partículas minerales más grandes presentes.

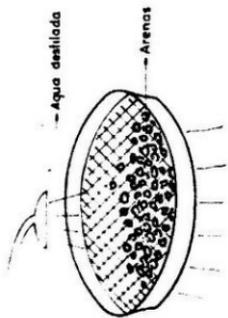
Los restos finos inalterados o en descomposición, se eliminan por ataque químico con sustancias oxidantes que no afecten los minerales.

El procedimiento usual consiste en el tratamiento con perhidrol a 20 volúmenes en frío durante 24 horas y en caliente (100-120° C) durante el tiempo necesario, con agregado de la droga en cantidad suficiente para que la eliminación sea total. Esto se comprueba ocularmente cuando cesa el burbujeo por ataque, que debe aprender a distinguirse del burbujeo por ebullición. En el primer caso, por lo general se producen abundantes y persistentes burbujas pequeñas (provocadas por desprendimiento de oxígeno). Este burbujeo provoca la formación de una espuma cuyo espesor aumenta a medida que el ataque continúa, elevándose dentro del recipiente con el riesgo de rebasarlo; por este motivo el calentamiento debe ser lento y el agregado de droga debe ser cauteloso y en poca cantidad cada vez. Esta sería otra de las causas por las cuales se recomienda el uso de recipientes altos para el procesado de las muestras.

Quando el burbujeo es producido por ebullición, las burbujas son gruesas y turbulentas, y están provocadas por las corrientes de convección que origina el calentamiento.

Si al agregar el perhidrol se produce un violento desprendimiento de oxígeno, traducido en un brusco y corto burbujeo, ello puede deberse a la presencia de óxido de manganeso, catalizador negativo del perhidrol que lo descompone rápidamente. En esta circunstancia puede hacerse necesario un tratamiento posterior con bisulfito de sodio para eliminarlo.

Un tratamiento más drástico para la total eliminación de materia orgánica consiste en tratar la muestra con permanganato de potasio al 5 %, con agregado esporádico de gotas de ácido sulfúrico (o cualquier ácido disponible) durante 24 horas en frío, agitan-



Aguá de lavado, limos y arcillas

Fig 9 Eliminación de sales por lavado sobre tamiz

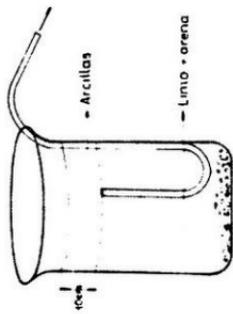


Fig 10 Eliminación de sales por lavado con sifonado

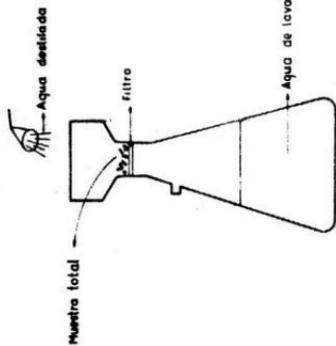


Fig 11 Eliminación de sales por filtración del agua de lavado, sobre filtro de vacío tipo Buchner

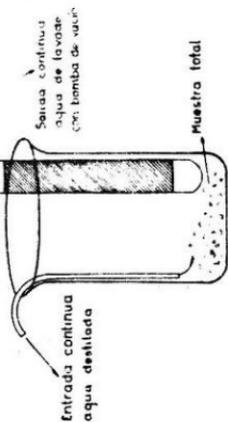


Fig 12 Eliminación de sales por filtración continua del agua de lavado con filtro tipo Chamberlain (por succión)

do periódicamente con varilla de vidrio; al cabo de ese tiempo se agrega perhidrol al 10 % hasta provocar la total decoloración de la solución, calentando luego a 100° C hasta total desprendimiento de oxígeno libre.

Este tratamiento resulta más fácilmente aplicable a las fracciones gruesas que a las finas por cuanto, terminado el ataque, de be practicarse un cuidadoso lavado con agua destilada. Cuando el material es grueso, el lavado puede realizarse por decantaciones sucesivas (tanto más lentas cuanto más fino es el material) volcando cuidadosamente el líquido sobrenadante. En cambio, en las fracciones más finas, el lavado debe realizarse utilizando los filtros de vacío.

3.- Desagregación:

Cuando las rocas sedimentarias clásticas presentan algún grado de agregación debido a la presencia de materia orgánica en descomposición, o elevado porcentaje de partículas arcillosas o coloides, como sería el caso de la mayoría de los suelos, la desagregación se hace necesaria para que los granos puedan ser individualmente estudiados. Los métodos a emplearse deben ser efectivos sin que afecten ninguna de las características propias de los minerales.

El desagregante químico específico actualmente más utilizado es el hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆, considerado como más apto que el hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hiposulfito de sodio y otras drogas anteriormente usadas para este fin.

Se emplea en solución 0,1 N, que conviene preparar en el momento de utilizarse, para evitar su descomposición a temperatura ambiente. A tal efecto, se recomienda preparar una solución "madre" de concentración 1 N. Esta se logra disolviendo 102 gramos de droga por litro de agua destilada, entibiando suavemente si la temperatura ambiente es baja, sobre todo en invierno.

De esta solución madre se agregan 50 cc a la muestra ya sumergida en 450 cc de agua destilada, y se lleva a batidora mecánica. Se agita durante 5 a 10 minutos, según la naturaleza del sedimento en cuestión y se vierte en probetas de 1000 ml, destinadas a practicar la granulometría fina (de limos y arcillas) y se lleva a enrase con agua destilada. En este momento la solución tiene la concentración 0,1 N requerida, y se deja actuar por 24 horas.

Para los mismos fines puede usarse con éxito un desintegrador ultrasónico, que actúa por vibraciones de alta frecuencia.

Una forma simple de constatar si la desagregación ha sido completa, es la de frotar la muestra contra el fondo del recipiente, presionando suavemente con la yema del dedo índice o mayor, o bien frotar entre los dedos índice o mayor y el pulgar. Procedien-

do de esta manera los agregados se acusan fácilmente al tacto, además de mancharse el recipiente o los dedos con las partículas muy finas que actúan de aglomerante.

4.- Eliminación de barnices y/o cementos:

Los compuestos que suelen recubrir los granos, cementándolos a veces entre sí, son comúnmente óxidos e hidróxidos de hierro, y carbonatos de calcio o de hierro.

Su eliminación interesa particularmente en las fracciones más gruesas, en las cuales se practica el estudio mineralógico.

Para estos fines, conviene constatar previamente la presencia o no de minerales cálcicos y proceder en consecuencia, ya que los tratamientos empleados para eliminar estos barnices y cementos pueden destruir los minerales de composición similar.

En el caso de estar ausentes los minerales cálcicos, o de haberse los separado o cuantificado previamente, la muestra se somete a tratamiento prolongado con ácido clorhídrico diluido al 10 %, calentando moderadamente hasta la eliminación total de los barnices que se pretende eliminar.

Si se trata de carbonatos, éstos producen efervescencia en contacto con el ácido, de modo que se consideran eliminados cuando ya no se observa este fenómeno.

En el caso de tratarse de barnices de hierro, su presencia se detecta por la coloración amarillo naranja que adquiere la solución. Se considera que su eliminación es total cuando el ácido no se colorea, al mismo tiempo que la mayoría de los granos minerales se observan decolorados y liberados de esa tonalidad.

En ambos casos, conviene lavar y repetir la operación hasta considerarse concluido el ataque.

Si la cubierta de óxidos de hierro persiste, el tratamiento puede intensificarse con el agregado de cristallitos de cloruro de estaño a la solución de ácido clorhídrico. Si se calienta hasta ebullición, el ataque se acelera de tal modo que la muestra puede quedar perfectamente limpia en el término de 2 a 5 minutos, a riesgo de que algún mineral resulte afectado. En este caso, se recomienda preparar la mezcla por anticipado, en la cantidad suficiente para el número de muestras a tratar, en la proporción de 10 gramos de cloruro de estaño (Cl_2Sn) por litro de ácido clorhídrico (HCl) normal 6 (que se prepara diluyendo 600 ml de ácido en 400 ml de agua destilada).

Si los granos están cubiertos por pirita (sulfuro de hierro: SFe), caso poco frecuente que se reconoce por su color amarillo laetón y brillo metálico, su eliminación es más efectiva con ácido nítrico (NO_3H) diluido y en caliente, aunque de esta manera también pueden resultar afectados algunos minerales.

Cualquiera de estos tratamientos ácidos exige un riguroso lavado posterior de la muestra, hasta eliminar totalmente la acidez del agua de lavado. Esta se detecta generalmente con los indicadores de papel tornasol. En el caso del HCl, su presencia en una solución se delata mediante el agregado de gotas de nitrato de plata, que provoca un enturbiamiento de aspecto lechoso, como consecuencia de la formación de un precipitado de cloruro de plata.

Para estos casos también suele aplicarse el uso de vibradores ultrasónicos, que resultan particularmente efectivos cuando los granos son de superficie más o menos lisa y los barnices no se hallan fuertemente adheridos.

Cuando las arenas están contaminadas con materias bituminosas o aceitosas, cualquier solvente (acetona, cloroformo, benzol, nafta, éter, etc.) puede resultar eficiente, aunque suele recomendarse un lavado con una mezcla de éter de petróleo y bisulfuro de carbono, seguido de un enjuague con alcohol. Se procede como en el caso de la eliminación de sales solubles, con las precauciones que exige el uso de materiales inflamables, como lo son los solventes indicados.

III.- CLASIFICACION PREVIA

La investigación de un material sedimentario puede orientarse variadamente, en función de la finalidad perseguida. Puede interesar conocer la distribución de tamaños de las partículas constitutivas en su conjunto, la distribución de cada especie mineral presente según tamaños, la relación entre los minerales livianos y los pesados, el contenido de minerales magnéticos, etcétera.

Además, el reconocimiento de las propiedades ópticas de todas las especies minerales presentes en una asociación heterogénea puede resultar insuficiente para determinarlos, si no se conocen concomitantemente otras propiedades físicas, como pueden serlo su densidad, susceptibilidad magnética, conductividad eléctrica, tensión dieléctrica, energía superficial, radioactividad, fluorescencia, etcétera.

Cada una de estas propiedades pueden servir de guía para clasificar el material en dos o más grupos de acuerdo a la capacidad de poseerla que tengan sus minerales componentes, empleando el método de separación que corresponda y facilitando así las tareas de identificación y cuantificación.

Estas razones motivan generalmente la clasificación del material en estudio, previamente a su reconocimiento microscópico.

1.- Clasificación granulométrica:

El fraccionamiento granulométrico resulta siempre necesario,

no sólo para establecer pautas comparativas, en cuanto a la variabilidad mineralógica en función del tamaño de las partículas y de las distancias recorridas durante el transporte, sino también como una necesidad metodológica, para facilitar el reconocimiento de las especies minerales.

Los preparadós microscópicos de partículas sueltas resultan más fácilmente practicables cuando las que se van a incluir son de tamaño similar o, por lo menos, con una variabilidad limitada de sus diámetros. Esto permite una mejor distribución areal de los granos, permitiendo a la vez que el cubreobjetos se apoye horizontalmente, determinando un espesor uniforme para toda la preparación, de modo que el enfoque del microscopio sea aproximadamente el mismo a través de toda la preparación. Por otra parte, la estimación de algunas propiedades ópticas como el color, pleocroísmo, birrefringencia y figura de interferencia, cuya intensidad depende del espesor del preparado, exige que éste sea conocido, al menos aproximadamente. En un preparado de composición heterogénea, es mucho más importante aún que el espesor del preparado sea lo más constante posible.

Además de facilitar las tareas de reconocimiento de las especies, el fraccionamiento granulométrico resulta útil en el estudio de la distribución de especies por tamaño, en relación con las rocas de origen, medio de transporte y distancia de acarreo.

Este fraccionamiento se logra, por los medios mecánicos adecuados, adoptando escalas arbitrarias, que establecen los llamados "grados granulométricos". Se han ideado varias escalas, que difieren en cuanto a la adopción de los tamaños límite para la clasificación gradual y, en parte, a la denominación de los grados granulométricos establecidos.

En geología, la escala generalmente adoptada es la de Wentworth, basada en el sistema de intervalos geométricos propuesta por Udden en 1898. Más adelante, mediante la aplicación de una ecuación de transformación logarítmica, se obtuvo la escala de grados ϕ , ideada y adoptada universalmente para aplicar las prácticas convencionales en los estudios estadísticos.

En el Cuadro I se ilustra la escala de Wentworth, consignándose las denominaciones de los grados y sus correspondientes límites en grados geométricos y sus diámetros en mm. También se consignan los grados ϕ correlativos, y los números de los tamices U.S., empleados para obtener las fracciones respectivas.

En Edafología se emplean escalas decimales cíclicas o irregulares, que difieren de la escala geológica de Wentworth en la adopción y notación de los grados granulométricos, así como en los límites adoptados, sobre todo en lo que respecta a las fracciones más finas.

CUADRO I. Escala granulométrica de Wentworth.

Denominación de los grados		Diámetro geométrico	Diámetro en mm	Escala phi	Tamiz US N°
Bloques		256	256	- 7	
Guijones		64	64	- 6	
		32	32	- 5	
		16	16	- 4	
Guijarros		8	8	- 3	
		4	4	- 2	5
Gránulos		2	2	- 1	10
Arena	muy gruesa	1	1	0	18
	gruesa	1/2	0,500	1	35
	mediana	1/4	0,250	2	60
	finá	1/8	0,125	3	120
	muy fina	1/16	0,0625	4	230
Limo	grueso	1/32	0,0312	5	
	mediano	1/64	0,0156	6	
	finó	1/128	0,0078	7	
	muy fino	1/256	0,0039	8	
Arcilla	gruesa	1/512	0,0019	9	
	mediana	1/1024	0,0009	10	
	finá	1/2048	0,0004	11	
	muy fina	1/4096	0,0002	12	

En el Cuadro II se incluyen las dos escalas más usadas en Edafología. Los límites para los grados granulométricos están dados en milímetros.

CUADRO II. Escalas granulométricas corrientemente usadas en Edafología.

Grado granulométrico	Americana (USA)	Internacional
gravas		20,00 - 2,00
arena muy gruesa	2,00 - 1,00	
arena gruesa	1,00 - 0,50	2,00 - 0,20
arena mediana	0,50 - 0,25	
arena fina	0,25 - 0,10	0,20 - 0,020
arena muy fina	0,10 - 0,05	
limo	0,05 - 0,002	0,02 - 0,002
arcilla	< 0,002	< 0,002

En el diagrama de Fig. 13 se ilustran gráficamente las características de las tres escalas mencionadas, a los fines de hacerlas objetivamente comparables.

Las técnicas a emplear para la clasificación granulométrica con recuperación de las fracciones resultantes, varían en función del diámetro de las partículas. Se emplea el tamizado para las fracciones de diámetro mayor al estipulado como límite entre arenas y limos, según la escala que se adopte (62,5 μ , 50 μ y 20 μ según escalas de Wentworth, U.S. e Internacional respectivamente), y el sifonado para las fracciones menores.

Una vez concluidas las operaciones precedentes de desagregación y limpieza, la clasificación granulométrica puede practicarse de dos maneras: a) partir de la muestra total comenzando con el sifonado de las fracciones más finas y terminando con el tamizado de las más gruesas, y b) procesando de la misma forma pero separadamente las fracciones mayores y menores del límite entre arenas y limos. Esto se logra tamizando la muestra total en húmedo sobre el tamiz respectivo, secando en estufa a 110^o C la fracción retenida (para ser clasificada por tamizado en seco), y recogiendo las fracciones menores en recipientes adecuados para ser clasificadas por sifonado de la suspensión acuosa.

mm	Wentworth	Americana	Internacional	mm
256	Bloques			
128	Guijones			
64				
32				20,00
16	Guijarros			
8	Guijas			
4				
2	Granulos		Gravas	2,00
1	m gruesa	m gruesa		1,00
1/2	gruesa	gruesa	arena gruesa	0,500
1/4	mediana	mediana		0,250
1/8	fina	fina		0,200
1/16	muy fina	muy fina	arena fina	0,100
1/32	grueso			0,050
1/64	mediano			0,020
1/128	fino	Limo	Limo	
1/256	muy fina			
1/512	gruesa			0,002
1/1024	mediana			
1/2048	fina	Arcilla	Arcilla	
1/4096	muy fina			

Fig 13 Representación gráfica de las escalas granulométricas

a) Tamizado

El tamizado se practica volcando la muestra seca sobre la serie de tamices adecuados, según la escala a aplicarse. El número de tamices a emplear depende del tamaño máximo de los granos de la muestra a procesar, quedando limitado por el tamiz que retiene las partículas más gruesas.

La serie de tamices a emplear se ordena desde arriba hacia abajo, en orden decreciente de abertura de malla, convenientemente apoyados sobre la base y cubiertos con su tapa.

La serie se coloca sobre vibrador mecánico, cuya frecuencia, intensidad y tiempo de vibración se regula de acuerdo a la naturaleza del material. Generalmente son suficientes 10 minutos para obtener un buen tamizado, pero en el caso de materiales muy finos puede resultar necesario llevar a tiempos superiores a los 20 minutos.

La frecuencia e intensidad de vibración debe regularse de modo tal que las partículas se muevan suavemente, rodando a través de toda la superficie del tamiz. Una vibración violenta no permite que los granos rueden, sino que los mantiene en permanente saltación y por lo tanto dificulta su caída a través de la abertura de la malla; un tamizado demasiado lento y suave no provoca el rodamiento de las partículas (cuya forma esférica ideal sólo se da excepcionalmente en la naturaleza) que tienden así a agruparse en un mismo punto del tamiz dificultándose mutuamente su desplazamiento.

Debe evitarse el tamizado manual, ya que de esta manera se introduce un factor personal que hace no comparables los resultados obtenidos por diferentes operadores, o aún por un mismo operador en distintas oportunidades, y para una misma muestra.

La meticulosidad con que se proceda ayudará a superar las deficiencias del método, traducidas en las diferencias de peso entre la muestra original y la suma de las fracciones finales obtenidas. Las diferencias se deben casi exclusivamente a pérdida del material, y ésta se produce casi inevitablemente por las siguientes razones: 1ª) como las partículas no son esféricas y además muestran diverso grado de angulosidad, resultan con frecuencia atrapadas por la malla del tamiz; 2ª) porque el trasvasado de la fracción desde el tamiz hacia el recipiente en que se pesará difícilmente puede hacerse sin riesgo de que los granos, al menos los más proclives a rodar, tiendan a caer fuera de él.

El manejo de los tamices exige una serie de precauciones mínimas, tendientes no sólo a la maximización de los resultados del procedimiento, sino a mantener la efectividad del dispositivo.

Como se dijo precedentemente, es común que algunos granos queden atrapados en la malla del tamiz y no resulta fácil hacerlos salir de esa posición. Este hecho es frecuente en los tamices de ma-

lla más fina, a partir del U.S. N^o 35 (abertura de malla: 500 micrones) tanto porque los granos tienden a ser más angulosos o irregulares, como porque la delgadez de los hilos de la trama del tamiz los hace vulnerables a las presiones y, por lo tanto, no se puede forzar los granos atrapados sin riesgo de romper la malla. Esta complicación insuperable conduce paulatinamente a la inutilización de los tamices, que deben ser reemplazados. Naturalmente, el más afectado resulta ser siempre el que retiene las arenas muy finas (230 o 270 según la escala) y, por lo tanto, es importante proveerse de dos unidades de esta característica, cuando se adquiere un juego de tamices para estos fines.

La remoción de las fracciones retenidas debe hacerse sólo con ayuda de un pincel o de un cepillo de cerda o de fibra sintética fina.

b) Sifonado

Mediante el sifonado es posible separar las fracciones correspondientes a los grados granulométricos limos y arcillas. El procedimiento se basa en la velocidad de caída de las partículas en una columna de agua, según sus diámetros. Los fundamentos teóricos se hallan expresados en la ley de Stokes. Para las fracciones que nos interesan, especialmente referidos a la escala de Wentworth, los tiempos y profundidades de sedimentación o sifonado son los proporcionados en el Cuadro III.

CUADRO III. Tiempos y profundidades de sifonado para la obtención de fracciones granulométricas finas.

Grado granulométrico	Tamaño en μ	Horas	Minutos Segundos	Profundidad en cm
limo grueso	31,2-62,5		1 56	10
limo mediano	15,6-31,2		7 42	10
limo fino	7,8-15,6		31	10
limo muy fino	3,9-7,8	2	3	10
arcillas totales	0,2-3,9	266	20 (11 días 4 h)	5
		168	(7 días)	3,35
		144	(6 días)	3,0
		134	10 (5 d 10 h 10 min)	2,5

Fig 16. Serie de tamices ordenados sobre vibrador mecánico de acuerdo a la escala granulométrica de Wentworth

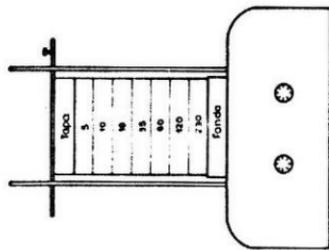


Fig 15. Tubo de vidrio acodado para sifonar a 10 cm de profundidad y coleccionar la muestra

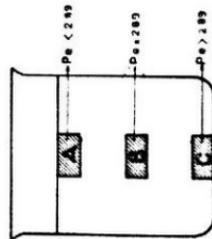
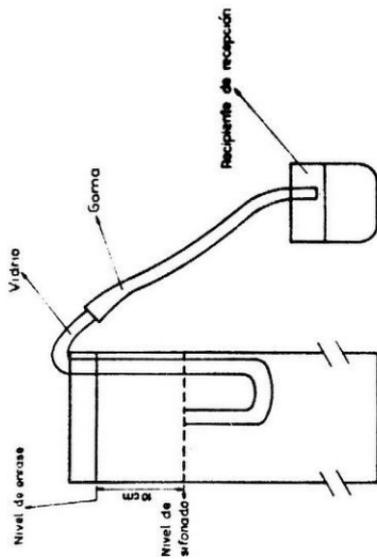


Figura 16

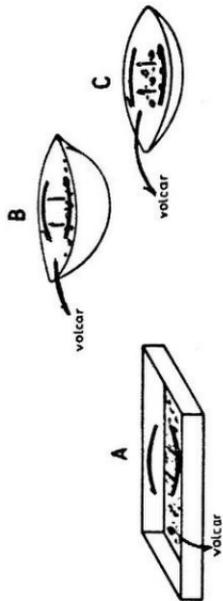


Fig 17 Elementos de laboratorio empleados para separar minerales por bateado (zarandeado). A, bandeja, B, cápsula, C, vidrio de reloj

Para obtener individualmente cada una de las fracciones que nos interesan, se sifona sucesivamente de acuerdo a los tiempos y profundidades indicados para cada caso. El producto de cada sifonado se recoge en recipientes individuales, para su posterior secado, apreciación cuantitativa expresada en peso y estudio mineralógico final.

La técnica consiste en sifonar en primer término las partículas más finas, vale decir, comenzando con los tiempos de decantación más largos.

A las 2 horas 3 minutos, los 10 cm superiores de la columna de agua contienen en suspensión solamente las partículas de arcillas y coloides. Como las observaciones microscópicas sólo pueden hacerse en los limos y arenas, este es un momento oportuno para efectuar el primer sifonado, separando en una única fracción todo el material de diámetro menor a 3,9 micrones, y que tal vez sólo puede interesarnos para su cuantificación.

Para cada uno de los sifonados posteriores conviene agitar nuevamente la muestra, agregando agua destilada hasta el mismo enrase, tomando cada vez un nuevo tiempo inicial.

El dispositivo más simple para estos fines consiste en un tubo de vidrio acodado, adaptado al recipiente en que se efectúa la operación, de modo que la boca del sifón quede ubicado a 10 cm por debajo de la línea de enrase. Este tubo acodado puede complementar se con un tubo de goma, para hacer llegar cómodamente la muestra al recipiente de recepción (Fig. 15).

Las fracciones recogidas se llevan a estufa, donde se secan a 100° C, para su posterior cuantificación y estudio microscópico con aceites especiales o mediante preparados fijos con resinas sintéticas específicas.

2.- Clasificación densimétrica

Los métodos de clasificación y separación de materiales clásicos sueltos basados en el peso específico de los minerales son los más usados, ya que ésta es una de las propiedades más importantes a reconocer. Ella responde tanto a su composición química como a su estructura interna, e incide fundamentalmente sobre su dispersión areal, a través de los diferentes medios de difusión natural que actúan sobre la superficie terrestre.

Estos métodos se basan en el principio de que un cuerpo flota, se suspende o se hunde en un medio líquido cuando éste es respectivamente más, igual o menos denso que él (Fig. 16).

Este hecho permite practicar una preselección final del material, que se practica generalmente sobre cada fracción granulométrica obtenida en particular, o de la muestra total cuando su

granulometría es más bien fina y bien seleccionada.

a) Bateado

Quando se trabaja en campaña se emplea generalmente el método de bateado (o zarandeado, conocido como "panning" en la literatura inglesa), que permite procesar grandes cantidades de material original. Consiste en volcar la muestra en grandes bandejas planas bajo corriente continua de agua, sometidas a movimientos combinados de giro y vaivén. De este modo, los minerales más pesados tienden a permanecer en el fondo, mientras que los más livianos se colocan por encima, pudiéndoselos transvasar con facilidad a otro recipiente. La efectividad del método depende en gran medida de la habilidad manual del operador, y es mayor cuanto mayor es la diferencia de densidades entre los minerales pesados y los livianos. Es muy usado en minería, para separar oro u otros minerales metalíferos de la ganga.

En el laboratorio el método puede aplicarse empleando bandejas más pequeñas, cápsulas de porcelana o simplemente un vidrio de reloj, según el tamaño de la muestra. La práctica desarrollará la habilidad manual necesaria para imprimir al recipiente los movimientos indicados, al mismo tiempo que volcar los minerales más livianos sin arrastrar los más pesados, que quedarán retenidos en el fondo (Fig. 17).

b) Método de los líquidos pesados

Para la obtención de datos cuantitativos más precisos, se recurre al empleo de los llamados líquidos pesados, por medio de los cuales puede clasificarse el material en dos o más fracciones, utilizando uno o varios de estos líquidos respectivamente.

En general, el método se utiliza sin bateado previo, pero en ocasiones éste puede ser necesario.

Dos medidas de prevención son absolutamente necesarias para este método: ante todo, la muestra debe estar perfectamente seca para evitar que la película de agua que recubre los granos, cuando la humedad no ha sido totalmente eliminada, actúe por tensión superficial, aglomerándolos y atrapándolos en la fracción liviana (es decir la que flota en el líquido). En segundo lugar, el líquido a emplearse debe ser correctamente seleccionado para los fines que se persigan.

Un líquido adecuado para practicar una separación mineralógica debe reunir los siguientes requisitos: debe ser de poco costo relativo, de simple preparación o fácilmente obtenible, transparente, líquido a temperatura ordinaria, no corrosivo, fluido, sin olor, químicamente inerte bajo condiciones ambientales (o fácilmente preservable), atóxico, de baja volatibilidad y fácilmente concentrable o diluible en diluyentes comunes.

Si bien ninguna de las sustancias conocidas reúne todas estas condiciones, se ha adoptado una serie de compuestos, en su mayoría orgánicos, cuya densidad oscila entre 1,2 y 5, y cuya selección depende fundamentalmente de los requerimientos de la investigación. La lista de los más usados es la siguiente:

1. Nitrobenceno	P.e	1,2
2. Cloruro de zinc		2,4
3. Bromoformo		2,89
4. Tetrabromuro de acetileno		2,96
5. Tetrabromoetano		2,98
6. Yoduro de potasio y mercurio (líquido de Thoulet)		3,17
7. Borotungstato de cadmio (líquido de Klein)		3,28
8. Yoduro de metilo		3,33
9. Formiato de talio		3,39
10. Formiato y malonato de talio (líquido de Clérici)		4,0
11. Nitrato de mercurio fundido a 70 ^o C		4,3
12. Nitrato de plata y talio fundi- dos a 75 ^o C (sal de Retger)		4,5
13. Cloruro de plomo		5,0

La toxicidad de la mayoría de estos líquidos, especialmente los de talio, y las dificultades para manipularlos, hace que se empleen sólo circunstancialmente y con las precauciones recomendadas en cada caso.

El líquido universalmente adoptado, y en base a cuyo peso es específico se clasifica tradicionalmente a los minerales en livianos y pesados, es el bromoformo. Usado por primera vez en 1895, todavía no ha sido reemplazado por considerarse el más ventajoso: es inalterable a temperatura ambiente y a resguardo de la luz, de olor no desagradable y poco riesgoso, si bien sus vapores pueden resultar tóxicos si se los respira en cantidad o repetidamente. Además, es soluble en alcohol y acetona (lo mismo que en benceno y tetracloruro de carbono), lo que lo hace fácilmente recuperable de las respectivas diluciones por simple lavado con agua destilada.

Las técnicas empleadas consisten esencialmente en volcar los granos minerales en un dispositivo que contenga el bromoformo, ade

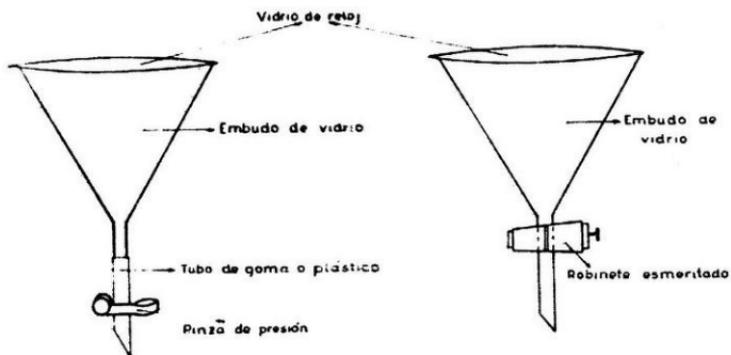


Fig 18 Embudo de vidrio adaptado para separación densimétrica

Fig 19 Embudo de vidrio modificado para separación densimétrica

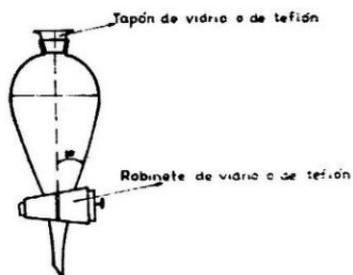


Fig 20 Ampolla de decantación para separación densimétrica

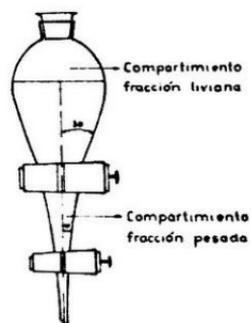


Fig 21 Ampolla de Brogger

cuado para la fácil recuperación de las fracciones obtenidas.

Este dispositivo debe llenar una serie de requisitos para que cumpla óptimamente con sus finalidades. En primer lugar, debe estar construido en un material transparente e inatacable por los líquidos a emplearse: el vidrio parece ser hasta ahora el más ventajoso, a pesar de su fragilidad. En segundo lugar, su forma debe ser tal que, a) evite la evaporación del líquido empleado, por lo cual debe estar provisto siempre de tapa; b) tenga una abertura que permita la fácil introducción del material, así como la de una varilla de vidrio para agitar los granos; c) tenga una válvula de salida con un diámetro tal que, además de coincidir con el de salida del recipiente en sí, permita la fácil salida de los granos a su través; d) a nivel del enrase del líquido sea lo más ancho posible, de modo que permita la formación de una capa delgada de abundantes granos de los minerales livianos que se acumulan por flotación; e) las paredes laterales tengan una inclinación tal que impida la adherencia de los granos pesados que van cayendo; f) la superficie interna de éstas no tenga rugosidades ni ángulos entrantes en los cuales puedan atraparse los granos pesados en su caída; g) su capacidad no sea mayor a 50 cc.

El aparato más simple para estos fines puede construirse adaptando un embudo de vidrio de paredes internas lisas, con un diámetro de 5 a 7 cm. Este embudo se cubre con un vidrio de reloj, para evitar la evaporación, y se suplementa en el pico de salida con un tubo de goma o de plástico no atacable, obturado con una pinza de presión (Mohr o similar)(Fig. 18).

Se han ideado modelos especiales de embudos para esta finalidad, reemplazando el tubo de goma por un robinete de vidrio soldado a la altura del cuello (Fig. 19).

Este modelo de embudo se reemplaza ventajosamente por ampollas de decantación tipo piriforme, cuyas paredes laterales tienen una inclinación de 30° respecto a su eje vertical, provistas de tapón y robinete de salida de vidrio o teflón esmerilados (Fig.20).

El dispositivo manual que reúne la mayoría de las condiciones ideales es la ampolla de Brogger (Fig. 21), que es una modificación de la ampolla de decantación. Consta de dos compartimientos conectados entre sí por un robinete intermedio que permite recuperar las fracciones liviana y pesada, una vez producidas, con más comodidad y eficiencia.

En todos los casos, la técnica consiste esencialmente en colocar en el dispositivo separador el bromoformo (o el líquido a emplear) juntamente con los minerales a separar, dejando reposar el tiempo necesario para que los minerales se distribuyan por gravedad pasando a integrar una fracción que flota (fracción liviana) y una fracción que se deposita en el fondo de la ampolla (fracción pesada).

En el caso de usarse la ampolla de decantación, que es un dispositivo accesible en cualquier laboratorio, la secuencia operatoria es la siguiente:

1ª) Preparar la ampolla, cuidando: a) que esté perfectamente seca; b) que tapón y robinete estén perfectamente lubricados (con vaselina sólida, silicona lubricante o similar) para evitar filtraciones del bromoformo; c) que el robinete esté cerrado de modo tal que el eje de su conducto forme un ángulo de alrededor de 30° con el eje de la ampolla (Fig. 22).

2ª) Llenar hasta la mitad con bromoformo, agregar luego una alícuota de aproximadamente 2 gramos de muestra perfectamente seca, con ayuda de un embudo pequeño y por último enrasar con bromoformo hasta el nivel de mayor diámetro de la ampolla. Esta secuencia provoca la agitación de los granos en favor de una mejor separación, ya que permite movimientos individuales más libres. Si se advierte que el material se agruma, cosa que sucede fácilmente entre las partículas muy finas (limos), puede intensificarse la agitación con una varilla de vidrio. Al retirarse ésta es común que arrastre algunos granos adheridos, pero éstos pueden hacerse deslizar fácilmente hacia adentro de la ampolla, dejando caer unas gotas de bromoformo sobre la varilla al mismo tiempo que ésta se gira lentamente, sosteniéndola a la altura del cuello del dispositivo (Fig. 23). Esta operación debe hacerse con ayuda de un gotero o de una pipeta.

3ª) Tapar la ampolla e inclinarla hacia adelante unos 45° respecto a la vertical, de modo que la boca superior del conducto del robinete quede hacia adelante, con la llave hacia la derecha si el operador es diestro y hacia la izquierda en caso contrario. Esto se hace con la finalidad de provocar la acumulación de los minerales pesados en el punto más próximo a la boca del conducto del robinete, de modo que, al girarse éste para dejarlos caer a su través, no resulten atrapados o destruidos por el cuerpo esmerilado de aquél (Fig. 24).

Para que la ampolla quede fácilmente dispuesta de esta manera sin riesgo de que cambie bruscamente de posición, es conveniente recubrir con abrazaderas de goma los soportes empleados (sean de pinza o de aro) (Fig. 25 y 26). En el caso de usarse un aro, no es necesario recubrirlo totalmente de goma, siendo suficiente que se cubran sólo tres porciones simétricamente dispuestas. Para ello se cortan tres trozos de tubo de goma, de unos 3 cm de largo, se abren longitudinalmente y se insertan en los tres puntos de apoyo predefinidos en el aro (Fig. 26).

El proceso puede favorecerse imprimiendo un suave movimiento circular a la ampolla antes de apoyarla sobre su soporte, o bien dando suaves golpes rítmicos con el dedo o con el extremo de una varilla recubierto con tubo de goma, sobre la parte superior de la ampolla.

Debe tenerse en cuenta que los minerales de forma laminar tienden a mantenerse en suspensión y por lo tanto demoran más tiempo en caer que los equidimensionales o alargados de la misma densidad. Por otra parte, puede suceder que algunos minerales se mantengan en suspensión indefinida, debido a que su peso específico es igual al del bromoformo. Esta circunstancia dificulta una buena separación, ya que algunos granos pasarán a la fracción pesada, arrastrados por el flujo de la corriente líquida provocada al abrir el robinete, y otros quedarán retenidos en la fracción liviana. En este caso, conviene disminuir levemente el peso específico del bromoformo por dilución con acetona o alcohol, para conseguir que estos granos caigan y pasen a integrar la fracción pesada.

Transcurrido el tiempo necesario, mayor cuanto menor es el tamaño de las partículas a separar, se quita el tapón y se gira el robinete, de adelante hacia atrás estando en la posición precedentemente recomendada. Simultáneamente, conviene volver la ampolla a la posición vertical, manteniendo el robinete abierto hasta que terminen de pasar todos los minerales pesados y cuidando de no arrastrar los livianos. Con frecuencia no alcanzan a pasar todos los granos pesados acumulados antes de terminarse el bromoformo, debiendo repetirse la operación tantas veces como sea necesario (Fig. 27).

Cada una de las fracciones se recoge por separado, sobre discos de papel de filtro previamente rotulados y dispuestos sobre un embudo que, a su vez, se coloca sobre un recipiente que permita recoger el bromoformo de filtrado, y que puede ser un simple tubo de ensayo de tamaño adecuado.

Recogidas ambas fracciones en sus respectivos papeles de filtro y el bromoformo recuperado en su envase, conviene lavar la muestra y la ampolla con acetona o alcohol. Este líquido de lavado puede recogerse en otro recipiente y envasarse debidamente rotulado, con la finalidad de volver a usarse y, oportunamente, lavarse con agua destilada para recuperar el bromoformo contenido en solución.

Este procedimiento manual permite trabajar en serie, disponiéndose de soportes múltiples adecuados y en número supeditado a las necesidades de trabajo y a las posibilidades prácticas del laboratorio.

Ultimamente las ampollas de decantación han sido reemplazadas ventajosamente por tubos de centrífuga adaptados a tal fin. De este modo se logra una reducción notable en los tiempos de decantación y manipuleo, si bien exige una mayor habilidad manual para cargar los tubos correctamente.

Se han ideado varios modelos que, en su mayoría, ofrecen grandes dificultades para recuperar las fracciones minerales sin contaminarse mutuamente. La práctica nos ha enseñado que el más adecuado resulta el modelo ilustrado en Fig. 28, modificado del mo-



Fig 22 Ampolla de decantación preparada para cargar

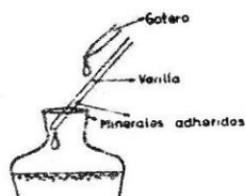


Fig 23 Modo de limpiar la varilla de agitación



Fig 24 Modo de disponer la ampolla para separar minerales



Fig 25 Pinza para tomar la ampolla de decantación



Fig 26 Aro dispuesto para apoyar ampolla de decantación

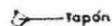


Fig 27 Modo de recuperar fracción pesada y bromoformo

delo de Jeffries. Consiste en un tubo embudiforme abierto, introducido dentro del tubo de centrífuga a cuyas dimensiones se adapta el primero. Este tubo embudiforme debe ser lo más alargado posible, de modo que sus paredes tengan una inclinación no mayor de 30° respecto a su eje vertical y su orificio de salida no más de 4 mm de diámetro; además debe estar provisto de una abrazadera de goma o de plástico que le permita adaptarse ajustadamente al tubo exterior, evitando movimientos que podrían producir su rotura durante el centrifugado, con la consiguiente pérdida de la muestra.

La técnica a emplear es similar al caso anterior, aunque aquí cabe extremar precauciones para evitar la contaminación de la fracción pesada con la liviana. Una vez ajustado el tubo interno dentro del tubo de centrífuga correspondiente, de modo tal que, en lo posible, no toque el fondo, se agrega bromoformo hasta aproximadamente las 5/8 partes de su capacidad (Fig. 28, engrase 1); seguidamente se vuelcan dentro del tubo interno los granos a separar (alrededor de 1 gramo) y por último se vuelve a agregar bromoformo hasta aproximadamente las 6/8 partes (Fig. 28, engrase 2). La cantidad exacta del bromoformo necesario estará determinada en cada caso por la carga total del primer tubo que se prepara, con respecto al cual deben equilibrarse todos los demás, cada vez que se centrifuga.

Las precauciones a tomar en este caso son las destinadas a evitar la contaminación de la fracción pesada: ésta se acumulará en el fondo del tubo externo, mientras la fracción liviana quedará retenida en el tubo interno, constituyendo la capa que flota en el bromoformo. Si la muestra se vuelca bruscamente o el agregado de bromoformo para equilibrar se hace violentamente, el impulso de la caída o la fuerza de arrastre de la corriente provocada, respectivamente, pueden hacer que algunos granos livianos pasen al tubo externo a través de la boca de salida del tubo interno, sin posibilidades de retorno a éste.

Por las mismas razones, la velocidad de centrifugado no debe sobrepasar las 1200 r.p.m., siendo recomendable aumentar los tiempos de centrifugado en razón directa de la disminución de tamaño de las partículas a separar. Para el caso de las arenas, son suficientes de 2 a 5 minutos.

Para retirar las fracciones respectivas de cada uno de los tubos en que resultan acumuladas, se debe tapar cuidadosamente el tubo interno, desacoplándolo del tubo externo mediante giros suaves hacia derecha e izquierda. Una vez logrado esto se lleva rápidamente al papel de filtro previamente dispuesto, para la fracción liviana, como en el caso de la ampolla de decantación, retirándose entonces el tapón de modo que todo el contenido del tubo caiga dentro del papel. Esta operación exige cierta rapidez y precisión de movimientos, ya que el bromoformo, por su peso específico elevado, tiende a escaparse por el orificio de salida. Esto podría

obviarse disminuyendo su diámetro (4 mm), pero se aparejaría el riesgo de que se atasque con el paso de los granos. Luego se vuelca el contenido del tubo externo sobre otro papel de filtro, igualmente dispuesto para la fracción pesada.

Los granos que quedan adheridos a las paredes de ambos tubos se hacen deslizar hacia el papel de filtro respectivo, con ayuda de un chorro de acetona o alcohol, cuidando de no contaminar el bromoformo recuperado del filtrado anterior.

En el caso de no disponerse de este modelo especial de doble tubo para centrífuga, existen otras alternativas aplicables al uso de los tubos cerrados comunes. Una vez lograda la clasificación de ambas fracciones por centrifugado, se procede a congelar el bromoformo hasta las 3/4 partes del tubo, de modo que la fracción liviana quede retenida en el bromoformo líquido sobrenadante. Para conseguirlo, se sumerge el tubo hasta el nivel deseado en una mezcla de anhídrido carbónico (nieve carbónica) y etanol. Entonces se vuelca la parte líquida conteniendo la fracción liviana sobre el papel de filtro y se lava repetidamente con bromoformo, hasta que hayan sido totalmente evacuados los granos minerales. Luego se deja licuar el bromoformo restante a temperatura ambiente y se recoge la fracción pesada contenida, en el respectivo papel de filtro.

Si se deben emplear los mismos dispositivos para otra serie de separaciones, deberá cuidarse de que estén completamente secos, previo lavado con acetona o alcohol.

En lo que respecta a la conveniencia de usar ampollas o tubos de centrífuga, la experiencia ha demostrado que, en general, resulta más ventajoso usar las ampollas para las fracciones más gruesas, desde arenas finas, y los tubos de centrífuga para las arenas muy finas y limos.

Cualquiera sea el dispositivo disponible o seleccionado para efectuar una separación mineralógica, deben tenerse en cuenta una serie de recomendaciones prácticas cuya observancia asegura el éxito de la operación.

En primer lugar, los elementos a usarse deben estar perfectamente limpios y secos, para lo cual deben lavarse cuidadosamente con acetona o cualquiera de los solventes específicos del bromoformo, ya que generalmente se trata de eliminar los vestigios de separaciones anteriores.

Del mismo modo, y para asegurar una completa limpieza de la superficie de los granos minerales, debe lavarse la muestra obtenida sobre el mismo papel de filtro empleado, dejando secar a temperatura ambiente. Esta precaución debe tomarse en virtud de la inflamabilidad de las drogas usadas.

Es importante trabajar a temperatura ambiente moderada y cons

tante, para evitar alteraciones en el peso específico del bromoformo con la consiguiente alteración de los resultados a obtener. La temperatura óptima es de 25^o C, en que el peso específico del bromoformo alcanza a 2,89, valor universalmente adoptado como límite entre las fracciones liviana y pesada.

No debe olvidarse de mantener aereado el ambiente de trabajo, ya que el bromoformo es parcialmente volátil y por ende puede producir irritaciones a la vista o las mucosas de las vías respiratorias, con las consiguientes molestias.

La mayoría de los plásticos y las pinturas en general resultan atacados por el bromoformo, de modo que debe recordarse tomar las precauciones del caso para evitar el deterioro de los soportes, envases y otros elementos susceptibles, en uso.

Tampoco debe descuidarse el rotulado de los papeles de filtro, tanto como de los envases en que se guardarán el bromoformo y el solvente, puros y recuperados de otras separaciones.

En los filtros en que se conservará cada fracción mineralógica conviene consignar debidamente: a) el número de archivo de la muestra original; b) otras referencias importantes, como lugar de origen, etc.; c) la fracción granulométrica respectiva, expresada por su notación, por su tamaño de grano en milímetros o en micrones, o bien por el número del tamiz respectivo; y d) la fracción mineralógica contenida liviana (F.L.) o pesada (F.P.) según se ilustra en Fig. 30.

Igualmente importante resulta el dispositivo destinado a archivar o simplemente disponer los papeles de filtro con la fracción resultante, ya que deben asegurarse de tal modo que se eviten volcaduras con la consiguiente pérdida de material, al mismo tiempo que debe resultar cómodo para el manipuleo que exige extraer alicuotas para los preparados microscópicos. Se han ideado a tal fin las cajas en V fáciles de construir en madera, cartón duro u otros materiales rígidos, en forma de canaleta en V con paredes a 90^o. En Fig. 31 se ilustra una caja simple, útil para disponer una serie de muestras en estudio y fácil de ubicar sobre la mesa de trabajo, al lado del microscopio, durante la investigación. En Fig. 32 se ilustra una caja múltiple, útil para el archivo, y que puede adaptarse como cajón de un mueble específicamente construido de acuerdo a la disponibilidad espacial o al criterio del investigador.

Finalmente, la precaución más importante que debe tomarse es la de controlar el peso específico del bromoformo, cada vez que se procesa una serie de muestras, sobre todo si la droga ha sido recuperada de separaciones anteriores.

El modo más simple de efectuar este control se consigue mediante el empleo de los indicadores de Kranz, si bien sólo permiten resultados aproximativos. Estos indicadores consisten en peque

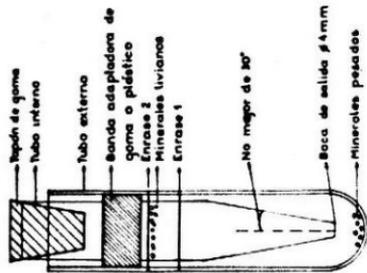
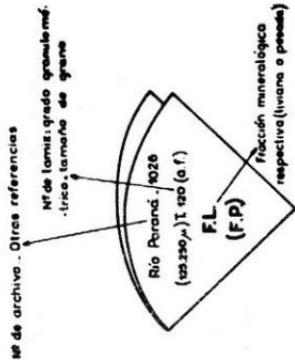


Fig 28 Tubo separador de minerales preparado para centrifugar



Nº de archivo . Otras referencias

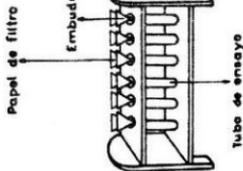


Fig 29 Dispositivo preparado para recibir fracciones mineralógicas y recuperar al bromoformo

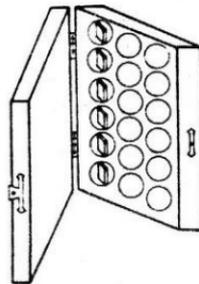


Fig 33 Indicadores del Dr. Krantz



Fig 32 Dispositivo múltiple o cajón para mueble de archivo mineralógico



Fig 31 Dispositivo simple para archivo mineralógico

fios paralelepípedos de vidrios artificiales (12x7x3 mm), de peso específico conocido y con valores de intervalos irregulares, desde 2,2, hasta 4,1 (Fig. 33).

El procedimiento consiste en sumergir uno a uno los indicadores en una alícuota de bromoformo convenientemente colocada en un pequeño vaso de precipitado de vidrio (u otro recipiente transparente), comenzando por el de valor 2,89. Si el indicador se mantiene suspendido, su lectura dará directamente el valor buscado. Si este no es el caso, deberá calcularse el valor promedio de los dos indicadores sucesivos de la serie, de los cuales uno flota y el otro se hunde.

Si se hace necesaria la determinación exacta del peso específico del bromoformo, así como el de cualquier líquido, pueden aplicarse los métodos del índice de refracción, de la balanza de Westfal o del hidrómetro.

En el primer caso, es indispensable contar con curvas de índice de refracción-peso específico, previamente elaboradas a partir de mediciones hechas en mezclas en proporciones conocidas, del líquido a determinar (en nuestro caso bromoformo-acetona, bromoformo-alcohol o, en general, bromoformo-solvente). La lectura directa con un refractómetro, que sólo exige unas gotas de líquido, nos proporciona el valor de su índice de refracción y su lectura en la curva proporciona el peso específico respectivo.

Si no se cuenta con las curvas mencionadas, se recurre a la balanza de Westfal, que proporciona resultados muy exactos, o al hidrómetro que, convenientemente calibrado, nos da la lectura directa del valor que buscamos.

Si se advierte, por estos procedimientos, que el bromoformo a emplear se halla contaminado con el solvente, caso en que su peso específico será menor a 2,89, se puede purificar fácilmente procediéndose de la siguiente manera, siempre que el solvente sea soluble en agua, caso del alcohol o la acetona:

Se vuelca el bromoformo en cuestión en una ampolla de decantación de capacidad adecuada, se agrega igual cantidad de agua destilada, se agita vigorosamente y se deja decantar por un tiempo más o menos prolongado (unas horas). Se advertirá entonces que la columna líquida se separa en dos partes perfectamente diferenciables: una inferior de bromoformo puro y otra sobrenadante de agua, en la cual se ha disuelto la acetona o el alcohol contenido. (Otros solventes del bromoformo no son solubles en el agua, y la purificación deberá efectuarse en estos casos por destilación fraccionada). Es frecuente que el bromoformo muestre un aspecto lechoso u opalino, provocado por la incorporación de finas gotículas de agua que resultan eliminadas durante el filtrado del bromoformo, antes de ser finalmente envasado para su uso.

CUADRO IV.- Minerales sedimentarios más comunes

FRACCION LIVIANA		FRACCION PESADA	
P.e.	Mineral	P.e.	Mineral
2,10	Opalo	2,74-3,00	Muscovita
2,30-2,34	Yeso	2,78-3,16	Biotita
2,54-2,56	Microclino	2,90-3,00	Anhidrita
2,54-2,58	Ortoclasa	2,98-3,20	Turmalina
2,56-2,60	Anortoclasa	3,00-3,46	Anfiboles
2,54-2,60	Calcedonia	3,10-3,20	Andalusita
2,56-2,68	Cordierita	3,10-3,60	Piroxenos
2,58-2,62	Antigorita	3,16-3,24	Apatita
2,60-2,62	Albita	3,16-3,20	Fluorita
2,60-2,64	Caolinita	3,22-3,26	Sillimanita
2,62-2,66	Oligoclasa	3,24-3,50	Epidoto
2,64-2,68	Cuarzo	3,24-3,38	Zoisita
2,66-2,70	Andesina	3,26-3,38	Olivino
2,68-2,72	Labradorita	3,36-4,30	Granates
2,70-2,72	Calcita	3,40-3,56	Titanita
2,72-2,74	Bytownita	3,50-3,54	Diamante
2,74-3,00	Muscovita	3,50-4,50	Leucoxeno
2,76-2,78	Anortita	3,56-3,60	Topacio
2,78-3,16	Biotita	3,62-3,68	Cianita (Disteno)
		3,68-3,78	Estauroлита
		3,78-3,82	Limonita
		3,94-4,10	Corindón
		4,00-4,10	Blenda
2,20-2,27	Vidrios volcánicos	4,16-4,26	Rutilo
		4,32-4,58	Cromita
		4,40-4,52	Barita
		4,50-5,00	Ilmenita
		4,50-4,70	Circón
		4,52-4,80	Pirrotina
		4,78-5,10	Pirita
		4,90-5,30	Monacita
		5,10-5,18	Magnetita
		5,18-5,22	Hematita
		6,80-7,10	Casiterita
		7,10-7,60	Galena

Los resultados a obtener durante la separación densimétrica son, en cierto grado, previsibles. Es común en los sedimentos clásicos, tanto eólicos como ácuos, que la proporción de los minerales pesados sea ínfima en relación con los minerales livianos. Se consideran excepcionales los porcentajes superiores a 5 % en peso, salvo el caso de acumulaciones selectivas, propias de playas fluviales o marinas.

Naturalmente, la cantidad y calidad de los minerales que integran ambas fracciones están directamente relacionadas con la naturaleza de las rocas de origen, su resistencia a la meteorización y distancia de acarreo.

La fracción liviana siempre está constituida por un reducido número de especies minerales, si bien a veces constituye el 100 por ciento del material. Estas especies corresponden a los minerales esenciales de las rocas generadoras y, por tanto, constituyen los conocidos como **minerales petrogénicos**.

En cambio, la fracción pesada contiene mayor número de especies que, en su mayoría, son de carácter accesorio en la roca, pero resultan valiosos como indicadores de su procedencia en los materiales sedimentarios.

En el Cuadro IV se agrupan los minerales sedimentarios más conocidos, por orden creciente de pesos específicos, y en fracción liviana y fracción pesada respectivamente.

3.- Separación magnética

La respuesta de un mineral sometido a la acción de un campo magnético varía de acuerdo a su susceptibilidad o permeabilidad magnética, vale decir, la facilidad relativa con que las líneas de fuerza del campo lo atraviesan. Esto se expresa por el coeficiente de imantación, cuyo valor es 1 para el aire.

Las líneas de fuerza de un campo magnético se desarrollan desde un polo hacia el otro, de modo que un mineral colocado entre ambos puede resultar magnetizado en el mismo sentido o en sentido contrario. En el primer caso el mineral resulta atraído por los polos, de modo tal que un cuerpo alargado se dispone con sus extremos hacia ellos (Fig. 34); se llama **paramagnético** si se magnetiza proporcionalmente al campo de fuerza y **ferromagnético** si lo hace mucho más fuerte y desproporcionalmente que aquél, caso de la magnetita y la pirrotina.

En el segundo caso, el mineral se magnetiza proporcionalmente al campo y resulta rechazado por los polos, de modo que un cuerpo alargado se dispone transversalmente a la dirección entre ellos, calificándose de **diamagnético** (Fig. 35). Son muy pocos los minerales que muestran tal propiedad, como es el caso de la molibdenita.

Se acostumbra a clasificar arbitrariamente a los minerales de acuerdo a su permeabilidad magnética, en cuatro grados: altamente magnéticos, moderadamente magnéticos, pobremente magnéticos y amagnéticos. No obstante, el paso es gradual y no permite una separación neta entre cada grado. Además, un mismo mineral puede mostrar diferente grado de susceptibilidad, sobre todo en el caso de los silicatos complejos cuyo contenido en Fe puede ser variable.

En el cuadro V se agrupan los principales minerales sedimentarios, de acuerdo a este criterio.

Los procedimientos empleados para detectar y clasificar a los minerales magnéticos de un sedimento clástico, se practican generalmente sobre la fracción pesada, obtenida previamente por el método señalado de líquidos pesados (bromoformo). En esta fracción se hallarán los minerales ferromagnéticos, y que son los que muestran los mayores grados de susceptibilidad.

Quando sólo interesa separar los minerales altamente magnéticos es suficiente el uso de un imán manual permanente; además, si se desea separar partículas moderadamente magnéticas, es esencial el uso de un electromagneto. Por último, se desea clasificar el material de acuerdo a una escala completa de susceptibilidades, debe recurrirse al empleo de separadores magnéticos automáticos, para los cuales se han determinado escalas de coeficientes numéricos.

Los imanes permanentes son los de construcción más simple y más fáciles de obtener. Pueden ser en forma de barra (Fig. 36), en U (Fig. 37) o en herradura (Fig. 38). La fuerza de atracción de un imán de este tipo depende de su tamaño y de la distancia entre los polos, resultando directamente proporcional al primero e inversamente proporcional al segundo. Por este motivo, se han ideado accesorios ajustables, que permiten variar esta distancia a voluntad. Los más conocidos son el modelo de Crook (Fig. 39) y el Alnico (Fig. 40). Variando simultáneamente la distancia respecto de los granos, se puede lograr una separación fraccionada de los minerales con distinta susceptibilidad magnética.

Estos imanes permanentes, si bien son fáciles de adquirir y su uso manual puede resultar muchas veces más práctico, tienen el inconveniente de que deben reimantarse de vez en cuando y, además, deben ser muy grandes para ser potentes. Son muy recomendables cuando se investiga microscópicamente material muy fino y sólo interesa distinguir los minerales altamente magnéticos del resto, caso frecuente en el estudio de los minerales opacos, presentes en la fracción pesada de la mayoría de los materiales sedimentarios.

Si se desea expresar el contenido de minerales altamente magnéticos, como % en peso de la fracción, puede emplearse indistintamente cualquiera de los modelos mencionados de imán manual. Se procede de la siguiente manera:

CUADRO V. Clasificación magnética de los minerales sedimentarios más comunes, de acuerdo a sus pesos específicos.

Líquidos Pesados	I. Altamente magnéticos	II. Moderadamente magnéticos	III. Pobremente magnéticos	IV. Prácticamente amagnéticos
Biotita Epidoto Anfiboles Piroxenos Turmalina Fluorita Sillimanita Titanita Topacio Cianita Anatasa Brookita Corindón Rutilo	2,89 3,3 3,4 4,3	3,1 Biotita 3,2 Anfiboles y Piroxenos 3,6 Siderita 4,1 Almandino (Granate) 4,4 Cromita 4,8 Ilmenita 5,1 Hematita 5,17 Magnetita	3,1 Biotita 3,2 Turmalina 3,4 Epidoto 3,5 Olivino 3,6 Estaurolita 4,0 Granate 4,2 Rutilo 5,2 Monacita	2,3 Yeso 2,5 Feldespatos 2,7 Calcedonia 2,62 Cordierita 2,65 Cuarzo 2,85 Flogopita 2,90 Muscovita 3,0 Tremolita 3,1 Enstatita 3,15 Apatita 3,18 Andalusita 3,2 Fluorita 3,23 Sillimanita 3,5 Titanita 3,52 Topacio 3,62 Cianita 3,9 Anatasa 3,94 Brookita 4,0 Corindón 4,2 Rutilo 4,7 Circón 5,0 Pirita



Fig. 24 Permaguetano

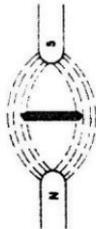


Fig. 25 Dermaguetano

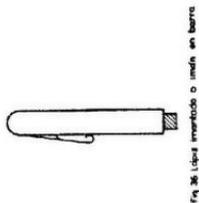


Fig. 36 Lipa insertada o unida en barra

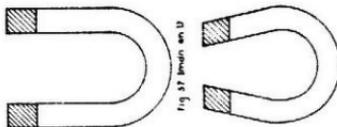


Fig. 37 Lipa en U

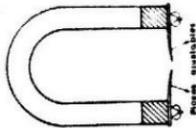


Fig. 38 Madera de Oak

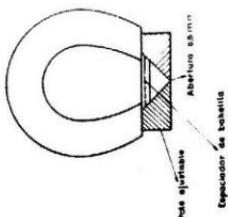


Fig. 39 Madera Anillo

Fig. 38 Indio en herradura

Una vez esparcido el material lo más uniformemente posible sobre una superficie lisa no susceptible magnéticamente (vidrio, papel, madera) se recubre con una hoja de papel delgado y sobre ella se pasa repetidamente, cubriendo toda el área, el imán de que se disponga (Fig. 41). De esta manera, los minerales magnéticos quedan adheridos a la cara inferior del papel, correspondientemente al área de mayor intensidad magnética desarrollada por el imán. Trasladando cuidadosamente el papel adosado al imán hasta apoyarlo sobre un recipiente previamente dispuesto, los granos caerán dentro de éste al retirar aquél (Fig. 42). También puede invertirse la posición del conjunto imán-papel, vale decir volviendo la hoja de papel hacia arriba manteniéndola adherida al imán, de modo que al retirarlo los granos queden preservados en el mismo papel, pudiendo pesarse sin necesidad de efectuar nuevos transvasamientos (Fig. 43). El uso de la hoja de papel es importante porque siempre resulta difícil desprender los granos que quedan directamente adheridos al imán.

Cuando el material es fino y se estudia en el microscopio, la evaluación cuantitativa se hace en número relativo de granos, si multáneamente con el reconocimiento y recuento de las demás especies minerales. En este caso, siempre que se trate de un preparado suelto, es suficiente acercar el imán al campo de observación, cuidando siempre de tener colocado el cubreobjetos. Desplazando el imán en cualquier sentido del plano horizontal, los granos magnéticos se trasladarán a través del preparado siguiendo la trayectoria del imán, e inclusive, adheriéndose unos a otros de manera encadenada (Fig. 44 y Fig. 45). En este caso resulta muy útil el lápiz imantado o imán en barra.

El electromagneto (Fig. 46) permite separar el material según los grados de susceptibilidad señalados en el Cuadro V con mayor exactitud y con intervalos regulables. Aquí el campo magnético se desarrolla por inducción eléctrica, de modo que su intensidad resulta directamente proporcional a la intensidad de la corriente e inversamente proporcional a la distancia entre los polos y a la distancia entre éstos y el material a separar. Como la imantación cesa al interrumpirse la corriente eléctrica, resulta muy fácil recoger los granos separados.

Se recomienda el siguiente modo de operar para efectuar una separación fraccionada. Colocada la muestra dentro de un sobre alargado abierto en un extremo, o de un papel longitudinalmente plegado y cerrado en un extremo (Fig. 47), se somete a la acción del campo magnético del electroimán. Este se hallará convenientemente conectado y graduado en el voltaje necesario para la primera separación, por la que se obtendrán los minerales moderadamente magnéticos, ya que se aconseja separar previamente los minerales altamente magnéticos por medio de un imán manual.

Fig. 43 Modo de invertir el papel en separación magnética

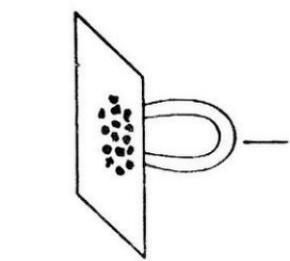


Figura 42

Fig. 41 Modo de usar el imán manual

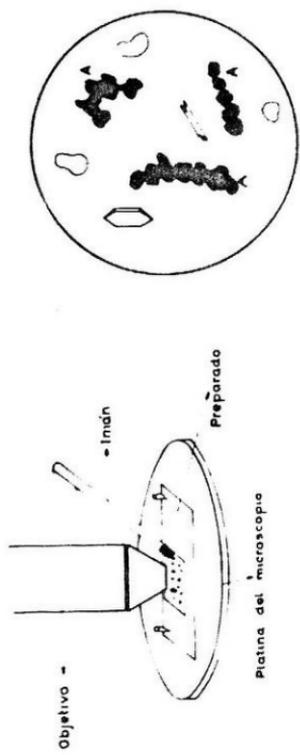
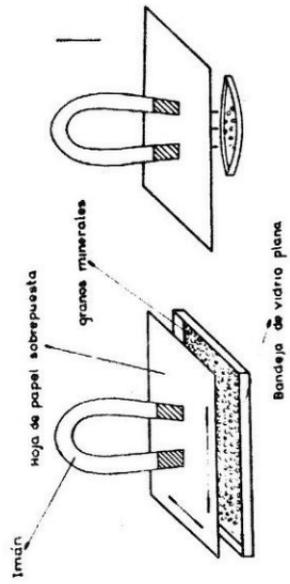


Fig. 44 Modo de aplicar el lápiz imantado a una preparación microscópica

Fig. 45 Modo de agruparse los minerales magnéticos en una preparación microscópica por efecto del imán A magnet.

Manteniendo el sobre con la muestra entre los polos, a la distancia adecuada, se le da un movimiento combinado de vaivén y traslación en el sentido longitudinal, de modo que los granos puedan rodar sobre sí mismos y dirigirse al extremo abierto del sobre, desde donde se hacen caer a otro receptáculo previamente dispuesto para tal fin. Se repite el procedimiento hasta que no se separen más partículas de ese grado de magnetismo.

Luego se aumenta la intensidad de la corriente, o se disminuye adecuadamente la distancia entre los polos y se extraen los granos de un grado menor de magnetismo, operando de igual manera que en el caso anterior.

El proceso se continúa de esta manera, hasta que los granos restantes caigan completamente en el grado amagnético.

La frecuencia relativa de cada grado se puede ponderar luego en peso o en número de granos por cada fracción.

Otros tipos de separadores mecánicos están basados en el mismo principio que el electromagneto, y difieren en cuanto al mecanismo aplicado para la automatización operativa. El más moderno es el separador isodinámico de Franz, mediante el cual se ha podido establecer una secuencia gradual de índices de susceptibilidad magnética, permitiendo separaciones minerales muy precisas.

El instrumento (Fig.49), consta fundamentalmente de un electroimán de alto poder, controlado por un transformador que permite variar la intensidad del campo magnético a intervalos regulares, y cuyos polos se disponen a ambos lados de un conducto separador vibratorio de características especiales, a través del cual se hace deslizar el material a clasificar. Este conducto está construido en un metal no magnético y su extremo inferior, doblado hacia abajo, se bifurca para conducir las dos fracciones obtenidas cada vez a dos recipientes separados. Además, su posición puede modificarse variando su inclinación longitudinal entre 0° y 90° y su inclinación lateral también entre 0° y 90° , en ambos sentidos.

Como en el caso anterior, se recomienda separar previamente los minerales altamente magnéticos con un imán manual, volcando luego cuidadosamente en el aparato los granos a separar, y repitiendo cada operación por lo menos una vez. La inclinación habitualmente dada al conducto separador es de $20-25^\circ$ hacia el costado y 30° hacia adelante. Para la regulación del aparato deben tenerse en cuenta otros factores, como el tamaño de los granos, homogeneidad del material y velocidad de alimentación del conducto separador.

La separación de los minerales amagnéticos, como la pirita y el circón, y de los diamagnéticos, como la molibdenita, debe practicarse con una inclinación lateral inversa.

La primera separación corresponde siempre a los minerales de mayor grado de magnetismo, que exigen una menor intensidad del cam-

po magnético, aumentando luego la intensidad de la corriente y la inclinación del conducto separador, según intervalos conocidos, para cada una de las sucesivas separaciones posteriores.

De este modo, se ha logrado clasificar magnéticamente a los minerales pesados en siete grados. Exceptuando el grado I, que corresponde a los minerales altamente magnéticos, magnetita y pirrotita, separados con un imán manual, la distribución es la del Cuadro VI.

Con cualquiera de los elementos manuales o mecánicos mencionados el éxito de la operación depende, en gran parte, de la preparación previa del material a investigar. En todos los casos resulta conveniente aplicar los tratamientos de limpieza, desagregación y clasificación granulométrica y mineralógica precedentemente indicados. En el caso de usarse los separadores mecánicos es aconsejable, además, separar previamente los minerales altamente magnéticos con un imán manual.

Por último, para la evaluación de los resultados de la separación magnética, deben tenerse en cuenta los siguientes hechos: a) los minerales naturalmente amagnéticos pueden tener adherencias o inclusiones magnéticas; b) las especies minerales de composición química compleja pueden mostrar diferente grado de magnetismo; c) los minerales de hierro que lo contienen al estado ferroso (Fe^{++} en magnetita, Fe_3O_4) son más intensamente magnéticos que los que lo contienen al estado férrico (Fe^{+++} en hematita, Fe_2O_3); d) son muy escasos los minerales altamente magnéticos, quedando prácticamente limitados a magnetita y pirrotita; e) los minerales livianos no muestran ningún grado de magnetismo.

4.- Separación electrostática

Si bien la conductividad eléctrica no es una de las propiedades físicas más importantes para la identificación de una especie mineral, su clasificación de acuerdo a este criterio puede resultar útil o necesaria para estos fines.

Teniendo en cuenta la diferente capacidad relativa de los minerales para conducir la electricidad, se acostumbra a clasificarlos groseramente en buenos conductores, moderadamente conductores y malos conductores, de acuerdo al Cuadro VII. Los primeros pueden separarse fácilmente de los últimos, no así de los otros.

Los métodos de separación se basan en el principio de que los cuerpos electrostáticamente cargados se atraen mutuamente cuando las cargas respectivas son inversas, y se repelen cuando son iguales.

La manera más simple de separar los minerales buenos conductores de los malos conductores, consiste en el empleo de una varilla de vidrio, de lacre o de ebonita, cargada electrostáticamente

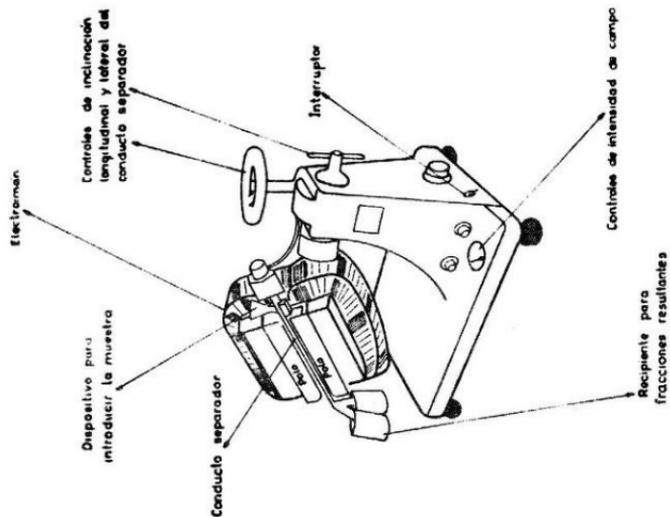


Fig. 49 Separador isodimómico de Franz

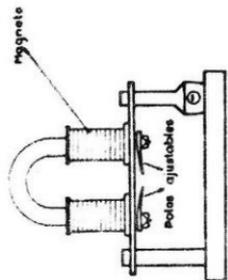
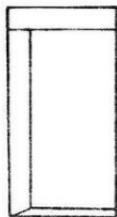
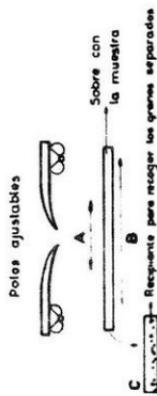


Fig. 46 Electromán



Extremo cerrado
 Fig. 47 Modo de preparar el papak para introducir los minerales a separar en el electromán



Poles ajustables
 Sobre con la muestra
 Fig. 48 Modo de operar con el electromán. A movimiento de válvula, B movimiento de insulación, C movimiento de caída de las grans a otro recipiente

CUADRO VI. Clasificación de los minerales pesados sedimentarios más comunes según grados de magnetismo, con el separador isodinámico Franz.

II magnético a 0,4 A	III magnético a 0,8 A	IV magnético a 1,0 A	V magnético a 1,2 A	VI amagnético a 1,2 A	VII diamagnético a 1,2 A
Cloritoide	Actinolita	Clinozoisita	Andalusita	Anatasa	Galena
Cromita	Augita	Diópsido	Apatita	Anhidrita	Molibdenita
Granate	Biotita	Enstatita	Leucóxeno	Berilo	Pirita
Ilmenita	Clorita	Espinel	Monacita	Brookita	
Olivino	Epidoto	Estaurrolita (clara)	Titanita	Cianita	
	Estaurrolita		Xenotima	Circón	
	Hornblenda	Muscovita		Corindón	
	Hypersteno	Turmalina (clara)		Fluorita	
	Turmalina (oscura)	Tremolita		Pirita	
		Zoisita		Rutilo	
				Sillimanita	
				Topacio	

CUADRO VII. Clasificación de los minerales más comunes según su conductividad relativa

Buenos conductores	Moderadamente conductores	Malos conductores
Cromita Espinelo Hematita Ilmenita Magnetita Pírita Pirrotita Rutilo	Anatasa Anfíboles Biotita Casiterita Piroxenos Rutilo Turmalina	Apatita Carbonatos Circón Corindón Cuarzo Espinelo Monacita Silicatos Sulfatos

por inducción. Frotando la varilla de vidrio sobre un paño de seda, aquella se carga positivamente; si hacemos lo mismo con cualquiera de las otras dos varillas, sobre una franela rústica o una piel de gato, se cargarán negativamente.

El método consiste en esparcir los granos a separar sobre una lámina limpia y seca de cobre, tratando de formar una sola capa lo más uniforme posible. Es requisito indispensable que los granos también estén perfectamente limpios y secos, por cuanto la humedad puede conferir carácter de conductor a un cuerpo que naturalmente no lo es. Luego se aproxima gradualmente la varilla cargada a los granos en cuestión, en posición horizontal, desplazándola a través de toda la superficie esparcida y girándola simultáneamente sobre sí misma. De este modo, las partículas conductoras resultan atraídas por la varilla, sobre la que se adhieren. Se desprenden luego con ayuda de un pincel o cepillo, y se recogen sobre un papel, vidrio de reloj, u otro recipiente adecuado (Fig. 50).

Un dispositivo simple ideado para su uso en laboratorio es el de Crook. Consiste simplemente en dos placas de cobre: una inferior esmerilada sobre la que se esparcen los minerales y otra sobrepuesta, con su cara inferior recubierta de laca, y que se carga electrostáticamente mediante dispositivos adecuados. Para la separación, estas placas se superponen separadas por soportes de vidrio, adecuadamente dispuestas, que actúan como aisladores (Fig. 51). Los minerales conductores se cargan negativamente y resultan así atraídos por la lámina de laca de la tapa, a la cual se adhieren. Para recoger los granos, se desacopla la tapa, se desconecta, y se hacen deslizar los granos por cepillado al recipiente destinado a contenerlos.

Estos métodos de separación se basan en el principio de que el elemento electrostáticamente cargado que se emplea (varilla o placa de Crook) induce una carga de signo contrario sobre la cara superior de cada partícula, y una carga de igual signo en la cara inferior. Si las partículas son buenas conductoras, estas cargas resultan absorbidas por la placa de cobre sobre la que se apoyan, de tal modo que ellas quedan con una carga desequilibrada y resultan atraídas por el elemento electrostáticamente cargado. Las partículas no conductoras resultan igualmente cargadas, pero sus cargas de la cara inferior no son absorbidas por la placa inferior de cobre, y por lo tanto la partícula no resulta atraída por el otro elemento.

Se han ideado otros dispositivos mecánicos de separación continua, basados en los mismos principios, especialmente diseñados para separar los minerales metálicos de los no metálicos en las explotaciones mineras, y que resultan de poca aplicabilidad en laboratorio. Por estos métodos, minerales tales como pirita, hematita, magnetita, ilmenita y otros minerales metalíferos que eventualmente pueden integrar también un sedimento, se separan del cuarzo, feldspatos, circón, monacita y otros minerales no conductores.

Cualquiera sea el método empleado, la respuesta de los minerales es siempre la misma: algunos resultan siempre repelidos por ambos polos, positivo o negativo, mientras otros resultan siempre repelidos por el positivo y otros resultan siempre repelidos por el negativo. De acuerdo a esta respuesta, se clasifican en irreversibles, reversibles positivos y reversibles negativos respectivamente. En el Cuadro VIII se agrupan los principales minerales de acuerdo a este criterio.

CUADRO VIII. Clasificación de los minerales según su comportamiento eléctrico.

IRREVERSIBLES	REVERSIBLES POSITIVOS	REVERSIBLES NEGATIVOS
Almandino	Anhidrita	Blenda
Barita	Apatita	Circón
Biotita	Calcita	Cuarzo
Cianita	Circón	Enstatita
Corindón	Dolomita	Hornblenda
Fluorita	Muscovita	Oligoclasa
Galena	Olivino	Piroxeno
Granate	Topacio	
Grafito	Yeso	
Hematita		
Ilmenita		

CUADRO VIII (continuación)

IRREVERSIBLES	REVERSIBLES POSITIVOS	REVERSIBLES NEGATIVOS
Labradorita Limonita Magnetita Microclino Monacita Pirita Pirrotita Rutilo Siderita		

5.- Separación dieléctrica

Este método se basa en el principio de que dos polos con carga opuesta se atraen con una fuerza que varía en relación inversamente proporcional al cuadrado de las distancias entre ellos. Esta fuerza disminuye considerablemente si los polos se colocan en un medio no conductor, es decir un dieléctrico, y varía según este medio. La relación entre la fuerza de atracción de dos polos opuestamente cargados en el vacío, respecto a su fuerza de atracción en otro medio cualquiera, se conoce con el nombre de **constante dieléctrica**.

Cualquier sustancia extraña en un medio dado es atraída hacia el campo eléctrico entre los polos si posee una constante dieléctrica mayor que la de ese medio. En su aplicación práctica para separar minerales ese medio debe ser necesariamente líquido.

Los líquidos comúnmente empleados para estos fines y sus respectivas constantes dieléctricas son los siguientes:

Kerosene	2,0
Tetracloruro de carbono	2,24
Benceno	2,28 a 2,3
Bisulfuro de carbono	2,6
Bromoformo	4,5
Acido acético	6,4
Tetracloruro de acetileno	10,0
Alcohol amílico	15,8 a 16
Bicloruro de etileno	18,0
Alcohol etílico	25,7 a 26,8
Alcohol metílico	33,7 a 35,4
Nitrobenceno	36,0
Furfurol	42,0
Agua	70,0 a 80,0

El benceno y el furfurool son miscibles, de modo que pueden obtenerse mezclas con cualquiera de sus valores intermedios (2,2 a 42,0).

La variación de la constante dieléctrica de algunos de los líquidos señalados depende de los resultados indicados por distintos autores y no de la variabilidad del medio.

El método es especialmente aplicable a granos de grado fino, por lo cual se trabaja generalmente bajo lupa o microscopio.

La metodología aplicada corrientemente consiste en volcar los granos sobre un vidrio de reloj o caja de petri de tamaño adecuado, recipiente dentro del cual se coloca, a la vez, otro pequeño envase destinado a recibir los granos separados, cubriéndose el conjunto con el líquido seleccionado (Fig. 52). Seguidamente se introduce el campo eléctrico mediante un par de agujas conectadas a una fuente de corriente alternada, que actúan como polos. Estas agujas están montadas sobre un dispositivo manual, de modo que la separación de ambas en sus extremos libres es de 1 mm. Para que el campo eléctrico actúe, estos extremos deben permanecer sumergidos en el líquido. De este modo, las partículas con constante dieléctrica mayor que el medio son atraídas hacia el campo eléctrico entre los polos, mientras que las demás son repelidas fuera de él (Fig. 53).

Para separar y cuantificar los granos atraídos, se trasladan los polos, es decir el campo eléctrico, a través del medio hacia el pequeño recipiente previamente destinado a recogerlos, retirando las agujas del líquido en el momento en que se ubican inmediatamente por encima de él, momento en que los minerales se privan de la acción del campo eléctrico y caen al fondo. Con ayuda de una pinza, se extrae el recipiente que los contiene y se vuelcan los minerales sobre un papel de filtro, sobre el que se lavan con el solvente adecuado y se dejan secar, aptos para ser identificados microscópicamente.

Para separar minerales de diferente constante dieléctrica se repite la operación, cambiando el líquido, previo lavado y secado de la muestra cada vez.

Los valores obtenidos para las constantes dieléctricas de los diferentes minerales varía en función de las características de la corriente y de los líquidos empleados, tanto como de la dirección cristalográfica en que se examina, la naturaleza y cantidad de inclusiones contenidas y, aún, del tiempo de inmersión.

Por estos motivos, los datos proporcionados por los distintos autores disienten variadamente, y sólo son comparables entre sí. Algunos de ellos se transcriben en el Cuadro IX, comparados con los valores adoptados en la Tabla Crítica Internacional.

Como puede observarse, analizando los Cuadros V, VI, VII y IX, los minerales que registran mayores constantes dieléctricas

CUADRO IX. Constantes dieléctricas de los minerales más comunes, según distintos autores.

Mineral	Tabla Crítica Internacional	Berg (1936) 880 V	Rosenholtz y Smith (1936) 220 V
Albita	-	3,5-4,0	6,02
Andalusita	-	3,0-3,5	8,28
Anhidrita	6,3	-	6,09
Anortita	-	3,5-4,0	6,88
Apatita	10,5	3,5-4,0	5,72
Augita	10,7	5,0-6,0	6,72
Barita	12,2	3,4-4,0	7,86
Biotita	-	5,7	9,28
Calcita	8,5	3,0-3,5	6,36
Casiterita	24,0	-	27,75
Cianita (Disteno)	-	4,5	7,18
Circón	12,0	-	6,09
Clorita	-	5,6	8,63
Corindón	13,1	3,5-4,0	5,35
Cuarzo	5,0	3,0-3,5	6,53
Diópsido	-	3,5-4,0	7,16
Epidoto	-	5,0-6,0	6,17
Esfalerita (blenda)	-	5,0-6,0	5,29
Estaurolita	-	3,5-4,0	6,80
Fluorita	6,8	3,5-4,0	7,11
Galena	-	-	81,00
Grafito	-	-	81,00
Hematita	-	-	81,00
Hornblenda	-	4,0-5,0	7,37
Ilmenita	-	-	33,70-81,00
Magnetita	-	-	33,70-81,00
Monacita	-	5,0-6,0	7,98
Olivino	-	3,5-4,0	6,77
Ortoclasa	-	3,5-4,0	6,20
Pirita	-	-	81,00
Pirrota	-	-	81,00
Rutilo	78,0	-	5,85
Siderita	-	3,5-4,0	6,78
Sillimanita	-	4,0-5,0	9,29
Titanita	-	-	5,63
Topacio	7,6	-	6,09
Turmalina	7,1	3,5-4,0	5,17
Yeso	11,6	4,0-5,0	6,83

son, a la vez, los de mayor conductividad eléctrica, no sucediendo lo mismo con respecto a la susceptibilidad magnética, excepción hecha de magnetita y pirrotita.

Este método de separación se emplea generalmente en el estudio de los minerales livianos de sedimentos de grano fino, si bien en su mayoría resultan microscópicamente identificables sin necesidad de recurrir a este tipo de separación previa.

Se recomienda especialmente efectuar la extracción previa de los minerales altamente magnéticos (a la vez altamente conductores) por medio de un imán manual, debido a que muchos de los líquidos empleados son inflamables y el campo eléctrico aplicado al medio puede provocar la chispa entre estos minerales (magnetita, pirrotita, ilmenita, hematita, piritita).

6.- Otros métodos de separación

Los métodos hasta aquí descriptos son los más comúnmente empleados en laboratorio o en campaña, para facilitar la identificación y cuantificación de los minerales que componen rocas sedimentarias sueltas.

Otras propiedades, además de las mencionadas, pueden motivar otros tipos de clasificación del mismo material, como lo serían su forma, propiedades de superficie, etcétera.

Estos métodos se emplean generalmente cuando se desea reconocer o aislar una sola especie de una asociación determinada, aprovechando sus caracteres físicos más prominentes.

a) Métodos basados en la forma de los granos

Los granos sueltos que constituyen una roca incoherente adoptan una forma que está directamente relacionada con su forma inicial en su roca origen, su estructura cristalográfica interna, distancia y modo de transporte a partir del momento de su liberación como clasto o grano suelto, así como el grado de meteorización sufrido durante el tiempo de acarreo y después de su deposición.

A su vez, la forma final de una partícula clástica determina el modo en que ésta puede deslizarse por una superficie lisa, circunstancia que se aprovecha para aislar especialmente los minerales laminares o fibrosos. Si se hacen deslizar por una superficie lisa inclinada, estos últimos tienden a permanecer sobre ella, mientras que los aproximadamente equidimensionales tienden a rodar, tanto más cuanto mayor es el redondeamiento alcanzado. El mismo resultado se obtiene si se imprime un movimiento vibratorio por resonancia al papel o lámina metálica sobre la que se distribuyen los granos, sosteniéndola por un extremo y golpeándola suavemente por el opuesto.

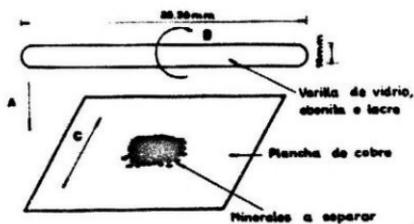


Fig. 48. Modo de emplear la varilla de vidrio, ebonita o lacre.

A, B y C: sentido de desplazamiento.

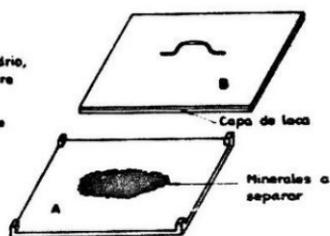


Fig. 49. Separador electrostático de Crook.

A: Plancha inferior con minerales a separar.

B: Plancha superior electrostáticamente cargada.

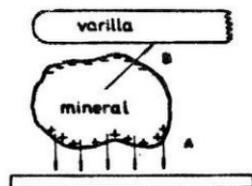


Fig. 50. Inducción de cargas eléctricas en un cuerpo conductor y su comportamiento.

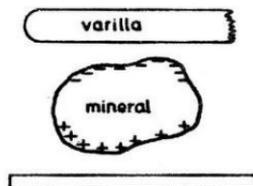


Fig. 51. Inducción de cargas eléctricas en un cuerpo no conductor y su comportamiento.

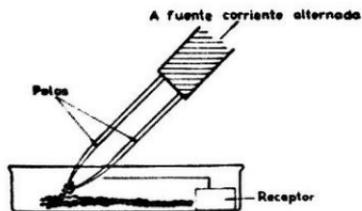


Fig. 52. Separación dieléctrica. Dispositivo simple.

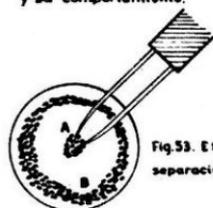


Fig. 53. Efecto de la separación dieléctrica.

A: minerales de constante dieléctrica mayor,
B: minerales de c. d. menor que A.

Este sencillo método se emplea habitualmente en el laboratorio para aislar las laminillas de mica, que son las que pueden dificultar la separación densimétrica, y por lo tanto debe practicarse previamente a ésta.

b) Métodos basados en las propiedades de superficie

No son de aplicación corriente en el laboratorio, para el estudio de sedimentos o suelos comunes, pero puede resultar de aplicación práctica en algunos casos de arenas o de material finamente fragmentado, que contenga minerales metalíferos, en especial sulfuros.

El método comúnmente empleado se basa en la facilidad relativa con que los diferentes minerales pueden recubrirse de una capa de agua, propiedad que se conoce como humectabilidad. Existe una graduación completa entre los que parecen repeler la humedad y que se mantienen más o menos secos después de ser sumergidos en el agua, llamados liófilos, y los que se humedecen fácilmente, llamados liófilos. En el primer grupo se incluyen unos pocos minerales metalíferos, en especial sulfuros, además del diamante; en el segundo grupo se incluye la mayoría de los minerales petrogénicos. Por ello, los aparatos ideados a tal fin se aplican específicamente a las menas metalíferas, pero son de poca aplicabilidad en trabajos de laboratorio.

Las técnicas empleadas en este caso son las llamadas de flotación, y consisten esencialmente en introducir la muestra en una solución acuosa de tres componentes o aditivos, dentro de un recipiente sometido a agitación mecánica.

Cada uno de los aditivos, agregado en pequeñas proporciones, produce un efecto específico, de la siguiente manera: Uno de ellos se usa para provocar la formación de una capa sobrenadante de espuma densa por reducción de la tensión superficial del agua, y que retiene o "atrapa" los granos liófilos. Las drogas comúnmente usadas son el aceite de pino, el cresol o el alcohol amílico. El segundo aditivo puede ser cualquier aceite insoluble y se usa para disminuir la humectabilidad de los granos liófilos al mismo tiempo que para estabilizar la espuma. El tercer aditivo puede ser un ácido mineral o un álcali, que aumenta la humectabilidad de los granos liófilos.

De esta manera los granos liófilos (generalmente sulfuros) se recubren de una delgada película de aceite, a la que se adhieren las burbujas de aire producidas en la espuma, haciéndolas flotar, de modo que ésta los atrapa, al mismo tiempo que los minerales liófilos caen rápidamente al fondo del recipiente. La espuma se retira repetidamente con una espátula o una espumadera, hasta que se considera completa la separación. Luego se trata esta espuma con un solvente adecuado, para eliminar los aditivos y recuperar así los minerales perfectamente limpios.

Variando adecuadamente los aditivos, se logra una separación selectiva de los diferentes minerales, de acuerdo a técnicas perfeccionadas para este fin.

CONSIDERACIONES FINALES

Cada uno de los métodos reseñados para preparar una roca sedimentaria clástica incoherente para su estudio microscópico, y la subsiguiente identificación y clasificación de especies minerales, adolece de deficiencias más o menos insuperables, cuya trascendencia depende fundamentalmente de las finalidades perseguidas por la investigación.

Los métodos manuales carecen de regularidad operativa, imputable no sólo a la precariedad del método o de los elementos usados, sino a toda la gama de variables que pueden afectar al operador técnico, resultando afectada la fidelidad de los datos obtenidos.

Por su parte, los métodos mecánicos también pueden producir resultados no confiables, debido a una serie de factores independientes del método o del estado de uso del instrumental.

Las principales causas de error en los resultados de los tratamientos señalados pueden estar provocadas por: criterio erróneo para seleccionar el lugar y modo de muestreo en campaña; deficiencias de manipuleo por parte del operador de campaña y de laboratorio; error de selección del método (o los métodos) a aplicar; deficiencias del método elegido; fallas del instrumental, y omisiones involuntarias o accidentales.

Además, pueden hacer variar los resultados las características propias de los granos, como lo son su forma, tamaño, composición química, alteraciones secundarias provocadas por meteorización, recubrimientos o adherencias muy resistentes, inclusiones, etcétera.

En todos los casos, la meticulosidad y el orden son factores importantes que limitan en gran medida las posibilidades de obtener resultados erróneos.

Indudablemente, la capacitación teórica y el desarrollo de la habilidad operativa práctica, constituyen los dos requisitos iniciales para asegurar el éxito del desarrollo de una investigación de este tipo y de la interpretación final de los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

- JONES, M.P. y M.G. FLEMING.-1965. Identification of mineral grains. *Elsevier*. 102 pp. Amsterdam, London. New York.
- KRUMBEIN, W. y F. PETTIJOHN.-1938. Manual of sedimentary petrography. *Appleton*. 549 pp. New York.
- MILNER, H.B.-1962. Sedimentary Petrography. *Mc Millan*, 4a. Ed. 2 Vol. 1358 pp. New York.
- MULLER, G.-1967. Methods in Sedimentary Petrology. En:v.Engelhardt, W., Fuchtbauer, H y Muller, G.: Sedimentary Petrology, Part I.- *Hafner Pub. Co.*, New York - London.
- TICKELL, F.G.-1965. The techniques of Sedimentary Mineralogy. (Developments in Sedimentology, 4) *Elsevier*. 220 pp. Amsterdam-London - New York.
- TWENHOFEL, W.H. y S.A.TYLER.-1941. Methods of study of sediments. *Mc Graw Hill*, 180 pp. New York - London.