

Hido 401

REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS



ANALISIS DE SEDIMENTOS

TEORIAS Y METODOS DE LABORATORIO

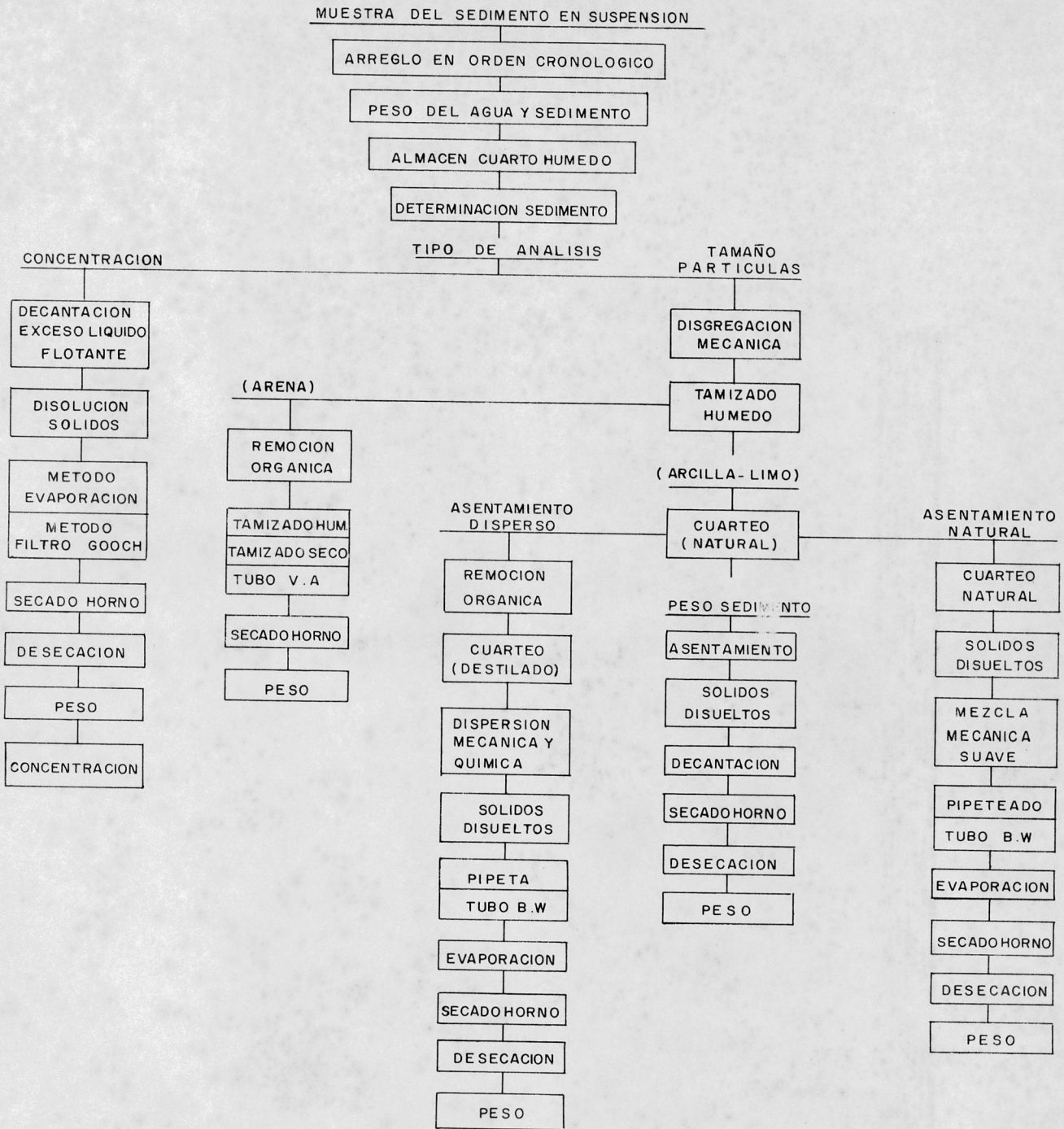
AUTOR: DAVID PEREZ HERNANDEZ.

DEPARTAMENTO DE INFORMACION BASICA

DIVISION DE HIDROLOGIA

CARACAS, ENERO 1971

DIAGRAMA DE FLUJO. PARA EL ANALISIS DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION



EXPLICACION

Diagrama de flujo para el análisis de la concentración y el tamaño de las partículas de muestras de sedimentos en suspensión.- Las divisiones y los bloques pueden ser sustituidos o sumados a otros cuando sea necesario, dependiendo de la cantidad, la condición y la gradación del tamaño de la muestra y los objetivos perseguidos con el uso de los datos. Si no se hace el análisis en un medio de asentamiento de agua natural entonces el agua destilada puede ser usada para el tamizado humedo y el cuarteo en bloques bajo "disgregación mecánica".

Los bloques que se dividen por líneas horizontales señalan procedimientos alternos.-



REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS



ANALISIS DE SEDIMENTOS

TEORIAS Y METODOS DE LABORATORIO

PRESENTACION

En la medida en que han ido avanzando las técnicas de trabajo en Hidrología, así como los métodos de medición, análisis e interpretación de los datos, bien podría afirmarse que las de carácter Sedimentológico, entre ellas, han señalado un avance extraordinario, si se considera que la mayor preocupación por parte de los diferentes países y organismos se remonta sólo a las últimas tres décadas. Dentro de los variados tópicos que ellas encierran, el análisis de los sedimentos ocupa un sitio de primer orden por la influencia e importancia decisiva que encierra su conocimiento en la ejecución de proyectos de diversa índole, tales como los de Obras Hidráulicas, desarrollo y conservación de cuencas, así como en la planificación y ejecución de trabajos especializados de investigación relacionados con los recursos hidráulicos.

El trabajo del Ing° Harold Guy del Geological Survey de Estados Unidos encierra a nuestro juicio, la descripción de los diferentes métodos, técnicas y equipos de laboratorio para los ensayos de sedimentos, en una forma clara e integrada, accesibles no solo al técnico superior, sino también al personal de campo con preparación media.

A objeto de lograr una mejor preparación del trabajador de campo, así como la posible introducción de nuevos métodos de análisis que complementen los procedimientos convencionales (tamizado-pipeteado), usados en los laboratorios de sedimentación de la División de Hidrología del MOP, el Grupo de Trabajo de Sedimentología ha realizado la traducción de este manual, esperando que los objetivos básicos perseguidos sean alcanzados plenamente.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
INDICE

Pág.

PRESENTACION	
RESUMEN	
INTRODUCCION.....	2
FUNCIONES DE UN LABORATORIO DE SEDIMENTACION.....	3
UNIDADES DE MEDIDA Y DEFINICIONES.....	7
TEORIA DE LA CAIDA DE LAS PARTICULAS EN UN FLUIDO.....	16
El medio de asentamiento.....	16
Ley de Stokes para partículas finas.....	17
Relaciones entre el número de Reynolds y el arrastre.....	20
Cifras significativas para indicar los resultados.....	21
PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION.....	22
Método de Evaporación.....	23
Método de Filtración.....	26
Planillas de Laboratorio.....	29
Procedimientos para los análisis de concentración.....	31
DETERMINACION DE LAS DISTRIBUCIONES DE TAMAÑO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION.....	33
FRECUENCIA RECOMENDADA PARA LOS ANALISIS.....	34
Métodos de Análisis.....	36
Limitaciones.....	36
Medio de asentamiento disperso.....	37
Medio de asentamiento en aguas naturales.....	40
Preparación de las muestras para análisis en aguas naturales.....	45

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO CON EL METODO DE LA PIPETA	48
Equipo.....	49
Preparación de la muestra.....	51
Registros y decantación.....	51
Dispersión mecánica.....	51
TAMIZADO.....	52
Separación de la arena de los finos.....	53
Método seco.....	53
Método húmedo.....	54
ANALISIS DE LA FRACCION DE LIMO Y ARCILLA	55
Separación.....	55
Dispersión.....	56
Pipeteado.....	57
Cálculo de los resultados.....	58
Peso total del sedimento en la muestra.....	58
Cálculos.....	59
PROCEDIMIENTO PARA ANALISIS GRANULOMETRICOS POR EL METODO DE LA PIPETA-TUBO VA.	59
Equipo.....	62
Preparación de la muestra.....	63
Separación de la arena de los finos.....	64
Separación y dispersion.....	65
Análisis con el tubo VA.	67
Selección del tubo.....	68
Procedimientos.....	69
Interpretación de las planillas.....	71

PROCEDIMIENTOS EN EL METODO DEL TUBO VA Y TUBO BW EN LOS ANALISIS GRANULOMETRICOS.....	72
La Teoría de Oden.....	73
Equipo.....	74
Preparación de la muestra.....	76
Análisis con el tubo BW.....	77
Dispersión.....	78
Descensos.....	79
Registro de los datos.....	81
La curva de Oden.....	82
Limitaciones del tubo BW para el análisis de arena.....	84
DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE DEPO- SITOS DE SEDIMENTOS Y MUESTRAS DE SUELOS.....	86
Equipos y métodos de manipuleo.....	86
Mediciones "In Situ".....	88
Diámetro nominal por inmersión.....	88
El analizador Zeiss.....	89
Análisis de Laboratorio.....	90
Preparación y procedimientos.....	90
Cálculo de resultados.....	93
Análisis mecánico de las muestras de suelo.....	95
OTRAS DETERMINACIONES RELACIONADAS CON LOS ANA- LISIS DE SEDIMENTOS.....	96
Material orgánico.....	96
Relaciones entre el medio de asentamiento y el tamaño de las partículas.....	96
Procedimiento de remoción.....	97
Destrucción de los agregados.....	99
Sólidos disueltos.....	100

Ensayos relacionados con la calidad del agua.....	102
Peso específico.....	102
Peso unitario.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	105

FIGURAS

Figuras 1-3 Gráficos e ilustraciones señalando:

1	Relación del diámetro nominal y velocidad de caída para partículas de cuarzo.....	14
2	Relación entre la velocidad de caída y el diámetro para partículas esféricas de cuarzo.....	20
3	El peso de sólidos disueltos para alícuotas de tamaño y concentraciones dadas.....	20

Figuras 4-6 Planillas de Laboratorio para:

4	Concentraciones de sedimentos y muestras integradas en la profundidad (forma corta).....	30
5	Concentración, muestras integradas en la profundidad (forma comprensiva).....	30
6	Concentración del sedimento, muestras puntuales e integradas.....	30
7	Fotografías y diagramas del aparato para análisis granulométrico con la pipeta.....	50
8	Análisis granulométrico por el método de pipeteado-tamizado.....	50
9	Fotografías del tubo VA y aparato de registrador.....	64

Figuras 10-12 Planillas de Laboratorio para:

10	Análisis granulométricos. Método del tubo VA (de 120 cms.).....	66
----	-----------------------------------------------------------------	----

11	Uso del tubo VA de 180 cms.....	66
12	Pasos en el registro para el cómputo del tamaño de las partículas cuando se usa el tubo VA con el tamizado, pipeteado y/o otros métodos...	66
13	Diagrama de la curva de Oden.....	74
14	Fotografía y diagrama del tubo de descenso de fondo y soporte.....	74

Figuras 15-17 Planillas de Laboratorio para:

15	Análisis granulométrico, método del tubo VA....	76
16	Análisis granulométrico, método del tubo BW (experimental).....	82
17	Representación de la curva de Oden (experimental).....	82
18	Diagrama esquemático de un analizador de partículas.....	90

TABLAS

1	Factores C para el cálculo de la concentración de sedimentos en miligramos por litro cuando se expresan en partes por millón ó en la razón (veces 106) del peso de sedimentos al peso de la mezcla de agua y sedimento.....	8
2	Escalas de tamaños recomendados para las clases en análisis de sedimentos.....	14
3	La subdivisión de la materia y sus propiedades resaltantes.....	16
4	Factores de corrección de velocidades para usar con la figura 2 cuando las temperaturas sean diferentes de 20°C.....	20
5	Guía para seleccionar el tamaño del tubo VA.....	39

6	Tiempos para los pipeteados a temperaturas dadas, profundidades de descenso y diámetro de las parti- culas	49
7	Tiempos de sedimentación en el método del tubo de descensos de fondo a ser usados con la curva de Oden.....	80

RESUMEN

TEORIAS DE LABORATORIO Y METODOS PARA EL ANALISIS DE SEDIMENTOS

El carácter muy diverso de los sedimentos fluviales hace que la escogencia de los análisis del laboratorio sea algo arbitrario y difícil, así como el procesamiento de los datos de sedimentación. Este informe presenta algunas teorías y métodos usados por la División de los Recursos de Agua en el análisis de sedimentos fluviales, para determinar la concentración de muestras de sedimentos en suspensión y la distribución del tamaño de las partículas, tanto de muestras de sedimentos en suspensión como de materiales de lecho. Otros análisis relacionados con estas determinaciones pueden incluir: forma de las partículas, contenidos de minerales, pesos específicos, presencia de materia orgánica, sólidos disueltos en la muestra y el peso unitario de los suelos.

Se discuten los méritos y técnicas, tanto de los métodos de filtración como de evaporación para los análisis de concentración. Los métodos usados para el análisis del tamaño de las partículas de muestras de sedimentos en suspensión pueden incluir, el tamizado-pipeteado, el pipeteado-tubo VA ó el tubo BW-VA, dependiendo del equipo disponible, la concentración y tamaño aproximado del sedimento en la muestra y, el medio de asentamiento usado. La escogencia del método para la mayoría de las muestras de material de lecho está limitado generalmente, a procedimientos adecuados para arena o algún otro tipo de análisis visual para tamaños mayores.

Se presentan varias planillas para ayudar a asegurar un sistema bien ordenado en el laboratorio, manipular las muestras, ayudar a determinar el tipo de análisis requerido para cada una, conducir el proceso necesario y ayudar a los cálculos requeridos. El

uso del manual llevara posteriormente, a normalizar los métodos de análisis de sedimentos fluviales entre los laboratorios, coadyuvando así en la uniformidad de los archivos y en la precisión de los datos.

INTRODUCCION

El autor ha intentado documentarse con los procedimientos especiales desarrollados y usados rutinariamente por muchos científicos y técnicos de laboratorio para análisis de sedimentos. Estos procedimientos no se agradecen individualmente, debido a que ellos han sido desarrollados generalmente, como resultado de las numerosas condiciones encontradas en muchos tipos de sedimentos en ríos de los E.E.U.U. y también a que los científicos y técnicos que han desarrollado estos sistemas altamente eficientes, lo hicieron en íntima asociación con sus antecesores. Es de descartar que el escritor posea los documentos de estos procedimientos en forma minuciosa y detallada, a causa de que es difícil obtener una información tan completa y a que hay necesidad de estandarización. Las teorías de sedimentación sin embargo, son más fáciles de agradecer; pero de nuevo, muchos contribuyentes las han desarrollado de individuos o grupos y no están plenamente documentados.

Entre los muchos que han contribuido a este capítulo, así como a los anteriores a la corriente de 1960, se expresa especial agradecimiento a C.D. Albert, F.C. Ames, B.C. Colby, B.R. Colby, C.R. Collier, R.K. Flint, J.C. Mundorff, G. Porterfield y R.B. Vice.

FUNCIONES DE UN LABORATORIO DE SEDIMENTACION

Un laboratorio de sedimentación en la División de los Recursos de Agua del U.S. Geological Survey tiene dos funciones principales:

- 1 La determinación de la concentración de sedimentos en suspensión en las muestras tomadas de ríos.
- 2 La determinación de la distribución del tamaño de las partículas de sedimentos en suspensión, material de lecho y depósitos en embalses. Otros tipos de análisis, usualmente asociados con estas dos funciones, pueden incluir: las determinaciones cuantitativas y/o remoción de materia orgánica y sólidos disueltos, el peso específico de partículas de sedimentos, el peso unitario de los suelos y depósitos de sedimentos, determinación de la forma de las partículas y análisis mineralógicos.

Los datos de la concentración y tamaño de las partículas se emplean para hacer cálculos de arrastres de sedimentos en suspensión, cálculos totales de acarreos de sedimentos y cálculos probables de volúmenes y pesos específicos de depósitos expuestos y sumergidos en embalses. Estos son algunos de los usos en que se aplican los datos de concentración y tamaños de las partículas en sedimentación fluvial. La realidad de estos cálculos y la utilidad de los datos, dependen de la seguridad de los análisis de laboratorio. Esta discusión sobre las funciones de un laboratorio de sedimentación, se da para suministrar una introducción en algunos de los problemas encontrados en los análisis de sedimentos y para que sirva de guía a los técnicos de campo en la toma de las muestras disponibles para los análisis deseados.

En la determinación de concentración de sedimentos en suspensión, la cantidad y características de los sedimentos y la calidad química del agua de las corrientes de

ben ser consideradas en el proceso del muestreo. También las pequeñas cantidades de sedimentos, tienden a aumentar los errores inherentes a la determinación del peso del sedimento seco o en la transferencia de material de un recipiente a otro. De otra forma, también grandes cantidades de sedimentos pueden causar problemas con respecto al cuarteo, secado, y pesado de la muestra.

Las muestras tomadas en ciertos tipos de aguas mineralizadas y conteniendo arcillas coloidales, resultan de difícil separación del sedimento al agua natural.

Una corrección al peso, basado en la cantidad de sólidos disueltos, es necesario a menudo, cuando se emplea el método de evaporación para la determinación de la concentración del sedimento en suspensión. Este y otros aspectos de la determinación de las concentraciones de sedimentos en suspensión serán discutidos más adelante en este capítulo.

La determinación de la distribución de tamaño de partículas de una muestra de sedimento en un río, ofrece diversas modificaciones con respecto a aquellas encontradas en determinadas concentraciones; como se discutirá más tarde, el método de tamizado-pipeta ó el método de pipeta-tubo de acumulación visual se recomienda, a fin de obtener una máxima información relacionada con la velocidad de caída. Mientras que cada tipo de análisis requiere un angosto rango en las cantidades de sedimento, el rango mucho mayor encontrado normalmente en las muestras de sedimentos podría ser el problema. Puede ser necesaria la composición ó agrupación de sedimentos de varias muestras en una, cuando la concentración del río es baja y una muestra de un río que tuviera una alta concentración, debería separarse, a fin de que una cantidad pequeña y óptima de sedimento pueda

analizarse. Por ejemplo, la cantidad de arena a ser analizada en el tubo de acumulación visual puede oscilar entre 0.05 a 0.8 grs, para el tubo más pequeño; para el tubo más grande de 5 a 15 grs; ó en el caso de la pipeta la cantidad de limo y arcilla puede ser exactamente suficiente para conducir a una concentración entre 2000 y 5000 partes por millon (PPM) en el tubo de sedimentación. Cada tipo de análisis tiene su propio rango de cantidades de sedimento necesario para obtener resultados óptimos.

En adición al problema de determinar el tipo de análisis a usar, se requiere tener en mente, la necesidad de determinar la concentración del sedimento en las muestras para las cuales se determina la distribución del tamaño de las partículas. Sin embargo, deben tomarse precauciones para obtener los pesos de todos los incrementos de sedimento en el análisis, así como, para las porciones no usadas en el análisis. Las muestras deben mantenerse húmedas hasta que el análisis granulométrico se complete, previniendo así, la formación de agregados que resistan la redispersión. La división de una muestra combinada en porciones separadas para determinar la concentración y el análisis granulométrico, debe evitarse, a menos que la muestra pueda dividirse en dos muestras, representando cada una de ellas las condiciones del flujo en ese tiempo dado. La separación puede introducir errores cualitativos y cuantitativos que pueden afectar la concentración y/o los resultados granulométricos. El procedimiento para determinar la distribución granulométrica de sedimentos fluviales por tamizado y métodos de sedimentación, se discutirá en las secciones siguientes. Se discuten también, la frecuencia del muestreo para análisis y la necesidad de procedimientos analíticos especiales para ambos: un medio de asentamiento disperso y uno natural. La determinación de la distribución granulométrica

de muestras de material de lecho es diferente en relación con la de sedimentos en suspensión, debido a que la cantidad de material es generalmente grande y las muestras, son usualmente, arena con un diámetro medio considerablemente grande y la mayoría de las muestras pueden estar en una condición seca, mientras que las muestras de sedimentos en suspensión contienen, a menudo, cantidades muy limitadas para el análisis. La mayor cantidad de muestras de lecho con su propio cuarteo, permiten el uso de óptimas cantidades de material para todos los rangos de tamaño.

Los tamices se usan para determinar distribuciones granulométricas de ≥ 2 mm, mientras que el tubo VA (tubo de acumulación visual) se emplea más frecuentemente para determinar distribuciones granulométricas de material de 0,062 a 2 mm. Sin embargo, el tamizado puede ser usado, - algunas veces lo es -, para el rango de tamaños de arena y grava. La determinación del tamaño de las partículas por el tubo VA, es con respecto a un diámetro de sedimentación, y la relación entre el diámetro de tamizado y el diámetro de sedimentación es bien conocido para esferas de cuarzo. Se asume generalmente, que las partículas tienen un peso específico de 2.65, a menos que el material que aparece en la muestra contenga cantidades significantes de otros minerales diferentes al cuarzo. Am bos, el peso específico así como la forma de las partículas, varían dependiendo de las ca racterísticas geológicas e hidrológicas de la hoya de drenaje y del río.

Puede ser útil constatar el peso específico y las características de forma del se dimento para una corriente específica, a fin de convertir el diámetro de caída del sedimento determinado por el método del tubo VA, a la velocidad típica de caída o tamaño actual de la partícula.

UNIDADES DE MEDIDA Y DEFINICIONES

Los métodos usados para tomar muestras de sedimentos se describen en un capítulo de esta serie intitulado, "Métodos de campo para las mediciones de sedimentos fluviales". * Aunque es posible determinar muchos tipos de concentraciones de sedimentos, tales como la media temporal ó el promedio a lo largo de una línea, sobre un área, y a través de un volumen específico; el muestreo y el procedimiento compuesto se diseñan especialmente, para dar una integración en el tiempo, una compensación de velocidad y un valor promedio de la concentración en la sección o la distribución de tamaños.

La unidad mas común para expresar la concentración del sedimento en suspensión es el miligramo por litro (mg/l) y se calcula como un millón de veces la razón del peso seco de sedimento en gramos, con respecto al volumen de mezcla de agua y sedimento en centímetros cúbicos (cm³). Otras unidades tales como el porcentaje (%) y PPM han sido usadas para expresar la concentración del sedimento en suspensión, pero no son recomendables. En el laboratorio es más conveniente obtener el peso de la mezcla de agua y sedimento que obtener su volumen. Por lo tanto se usa la siguiente fórmula que implica PPM (partes por millón).

$$\text{mg/l} = C \text{ (PPM)} = C \left[\frac{\text{Peso del sedimento} \times 1000.000}{\text{Peso de la mezcla (agua + sedimento)}} \right]$$

Donde "C" es dado en la tabla 1.

* "Fields Methods for Fluvial Sediment Measurements".

En algunos casos la concentración total del sedimento tiene que ser expresada en base al volumen, especialmente para arenas y otros materiales gruesos. Tales medidas de volúmenes no son consistentes, debido a que las variaciones atribuidas a las caracterís ticas de las partículas y a la compactación, hacen difícil la consideración de un peso específico para la conversión del volumen en peso. Varias medidas de partículas deberían definirse, como base para la determinación simple segura y práctica, y como una expresión del tamaño de los sedimentos.

Algunas medidas del tamaño de las partículas son difíciles de evaluar y se deter minan raramente. Otras se determinan sólo aproximadamente. Antes de que se discutan los conceptos básicos de estas mediciones, varios son conceptos esencialmente citados, tal como se reporta en "U.S. INTER, AGENCY COMMITTEE ON WATER RESOURCES, SUB-COMMITTEE ON SEDIMENTATION 1957, Página 11".

DIAMETRO NOMINAL DE UNA PARTICULA:

Es el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que la partícula.

DIAMETRO DE TAMIZADO DE UNA PARTICULA:

Es el diámetro de una esfera igual a la longitud del lado de una abertura cuadra da del tamiz; la partícula dada debe pasar exactamente.

VELOCIDAD TIPICA DE CAIDA DE UNA PARTICULA:

Es la rapidez promedio de caída que alcanzaría la partícula, si cayese sola en un medio acuoso destilado de extensión infinita y quieto, a una temperatura 24° C.

TABLA N° 1

FACTORES C PARA EL COMPUTO DE LA CONCENTRACION DEL SEDIMENTO EN MILIGRAMOS POR LITRO CUANDO SE USAN CON PARTES POR MILLON O LA RAZON (10^6 veces) DEL PESO DEL SEDIMENTO AL PESO DE LA MEZCLA DE AGUA Y SEDIMENTO.-

(Los factores se basan en las premisas de que la densidad del agua es 1,000 más ó menos 0,005. el rango de temperaturas es 0 - 29 °C. El peso específico del sedimento es 2,65 y la concentración de sólidos disueltos es menor de 10^5 partes por millón)

RAZON	C	RAZON	C	RAZON	C
0 - 15.900	1,00	234.000-256.000	1,18	417.000-434.000	1,36
16.000 - 47.000	1,02	257.000-279.000	1,20	435.000-451.000	1,38
47.000- 76.000	1,04	280.000-300.000	1,22	452.000-467.000	1,40
77.000-105.000	1,06	301.000-321.000	1,24	468.000-483.000	1,42
106.000 - 132.000	1,08	322.000-341.000	1,26	484.000-483.000	1,44
133.000 - 159.000	1,10	342.000-361.000	1,28	499.000-513.000	1,46
160.000- 184.000	1,12	362.000-380.000	1,30	514.000-528.000	1,48
185.000- 209.000	1,14	381.000-398.000	1,32	529.000-542.000	1,50
210.000 - 233.000	1,16	399,000-416.000	1,34		

DIAMETRO TIPICO DE CAIDA O SIMPLEMENTE DIAMETRO DE CAIDA DE UNA PARTICULA:

Es el diámetro de una esfera que tiene un peso específico de 2.65 y la misma velocidad típica de caída que la partícula.

DIAMETRO DE SEDIMENTACION DE UNA PARTICULA:

Es el diámetro de una esfera que tiene el mismo peso específico y la misma velocidad terminal uniforme de asentamiento que la partícula dada, en el mismo fluido de sedimentación.

DIAMETRO TIPICO DE SEDIMENTACION DE UNA PARTICULA:

Es el diámetro de una esfera que tiene el mismo peso específico y la misma velocidad de caída de la partícula dada.

NOTA: El significado del termino "partícula" es a menudo, más bien ambiguo.

Considerando cualquier muestra dada de suelo, la cual contiene un alto número de agregados considerablemente grandes; estos agregados son "partículas", y muchas propiedades del suelo dependen de su tamaño y estabilidad. Los agregados a su vez, consisten de granos quienes no obstante, son partículas y las cuales son comunmente citadas como las "últimas partículas". Así, estas denominadas "últimas partículas", pueden también considerarse no ciertamente como las últimas, debido a que los granos pueden estar compuestos de dos ó más cristales del mismo ó diferentes minerales.

Obviamente, es importante asegurarse de los tipos de partículas a ser medidos. En las investigaciones de sedimentación las partículas de "último tamaño" deberán usarse a menos que se especifique otra cosa. El tamaño de las "últimas partículas", en los sedimentos fluviales, puede ser definido para los propositos prácticos, como el tamaño

de las partículas obtenidos por métodos convencionales de preparación y dispersión de muestras de sedimentos. Los métodos típicos de preparación y análisis en agua natural, generalmente, resultan en flóculos de partículas, especialmente en el rango de las arcillas.

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS O SIMPLEMENTE DISTRIBUCION

Cuando se aplica en relación a cualquier concepto de tamaños, se refiere, a la distribución del material en porcentaje (%) ó proporciones en peso.

VELOCIDAD DE CAIDA DE ASENTAMIENTO

Son términos que generalmente pueden aplicarse a cualquier rapidez de caída o asentamiento, como se distinguió de la velocidad típica de caída. El concepto básico de "tamaño" de una partícula de sedimento, se expresa en términos de volumen (el Diámetro Nominal cómo se definió arriba).

Cuando se considera la densidad ó masa de las partículas, se usa el peso específico. Es necesario reconocer que las técnicas frecuentemente usados, para la separación de sedimentos en grados de tamaño, no seleccionan a las partículas únicamente por su tamaño, sino también por su forma; idealmente, en términos de aberturas cuadradas; pero en realidad, muchas partículas irregulares que tienen diámetro nominales mucho mayores que las mencionadas aberturas del tamiz, pueden pasar a través de un tamiz dado.

La definición anterior, diámetro tamizado de una partícula significa que, el diámetro de tamiz de la partícula, es la longitud del lado de la más pequeña abertura cuadrada a través de la cual, la partícula puede pasar. Así, se asume que el diámetro no

minal y de tamizado de una esfera son siempre equivalentes. Se mencionará, posteriormente que el diámetro nominal de una fracción tamizada puede ser mayor que el diámetro de tamiz indicado, si el tamiz está pobremente raído ó si alguna de las aberturas han sido deformadas de su forma cuadrada.

Una de las propiedades dinámicas, necesarias para el estudio de transporte de sedimentos, es la velocidad de caída de las partículas individuales en aguas quietas. Términos tales como "velocidad de asentamiento", "velocidad de caída", "caída de velocidad", "asentamiento de velocidad", se han aplicado a esta característica fundamental. La velocidad típica de caída, ha permitido a varios investigadores comparar sus datos directamente. Este concepto de velocidad de caída es simple y lógico; sin embargo, el concepto de tamaño está tan ampliamente relacionado y difundido dentro del campo de la sedimentología que es necesaria una definición ó medida del diámetro. Aquí, el "diámetro de caída" se relaciona a la velocidad de caída en que una partícula dada, tiene solamente un diámetro de caída, el cual es independiente del tipo de material, la concentración ó método, de análisis.

Los estudios han señalado que una partícula con varias partículas vecinas cae, generalmente, con una velocidad diferente que cuando la partícula se asienta sola. La distribución del diámetro de caída de una muestra, puede describirse cómo, la distribución determinada como si cada partícula, se asentase separadamente y se hiciese una sumatoria de los diámetros de caída de las partículas. Esta distribución se basa en el peso y el diámetro de caída y se cree que sea la expresión más deseable y básica para los análisis de sedimentación de una muestra.

La definición de diámetro de sedimentación, no restringe las condiciones bajo las cuales las velocidades de asentamiento se pueden determinar. La relación de diámetro a velocidad de asentamiento depende, solamente, del peso específico de las partículas. Cualquiera de las diferentes velocidades de asentamiento dependen de la naturaleza de la muestra, la concentración, tipo de fluido y aparatos que pueden ser usados en una determinación o estimación del peso específico, para establecer el diámetro de sedimentación. Es aparente de la definición previamente dada, que el "diámetro típico de sedimentación" de una partícula depende solamente del volumen y forma de la partícula; y que la relación de diámetro nominal a diámetro típico de sedimentación, se toma como una medida del efecto de la forma y rugosidad sobre la velocidad de asentamiento de la partícula en agua a 24° C.

Los tamaños físicos de las partículas, especialmente para gravas y partículas mayores, pueden expresarse en base a la longitud de los tres diámetros de las partículas (a, b, c) los cuales son mutuamente perpendiculares. Los ejes se diferencian así: -a- eje más largo -b- eje intermedio y -c- eje más corto de la partícula. El diámetro medio armónico (Krumbein y Pettijohn 1938, pág 128) se define como $d_h = 3abc / (ab + bc + ac)$ y se considera que está íntimamente relacionado a los diámetros calculados en base a la ley de Stokes. En adición al medio armónico, el medio aritmético $d_s = (a + b + c) / 3$ y los diámetros geométricos medios $d_g = \sqrt[3]{abc}$ se han empleado por varios investigadores para expresar el tamaño. Un valor importante de estas medidas físicas, es la expresión de un factor de forma de las partículas.

El factor de forma $S.F. = c/\sqrt{ab}$ es útil al relacionar diámetro nominal a ve locidad de caída ó diámetro de caída. La figura 1 señala la relación de caída de partí- culas de cuarzo naturalmente, a su velocidad de caída según factores de forma de 0.5, 0.7 y 0.9 y a una temperatura de 0° , 10° , 20° , 30° , y 40° C. El factor de forma de 0.7 es un valor promedio para los sedimentos naturales.

La utilidad de los factores de forma se limita en los estudios de sedimenta- ción rutinarios, pero aunque en el tamizado sean conocidos los diámetros nominales y de ejes largos, el diámetro de caída puede determinarse más fácil y precisamente, a través del dato de la velocidad de caída que por el factor de forma. En resumen, el factor de forma puede guardarse en su propia perspectiva, recordando que para esferas lisas de cuar- zo, los cuatro diámetros: nominal, de tamizado, longitud de ejes y de caída son los mis mos; así que el efecto relativo de la forma, varía con el tamaño; y que el efecto de la forma es más significativo con el de tamiz, que en los otros tipos de análisis de sedimen- tación, al menos para los tamaños más pequeños.

Con respecto a los métodos de análisis de tamaño de las partículas, la siguien te distinción se hace entre un sistema disperso y uno estratificado, según se ha informado en el (U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentación, 1957 b, p. 13) :

UN SISTEMA DISPERSO

Es uno en el cual las partículas comienzan a asentarse desde una dispersión inicial uniforme y en el cual las partículas con tamaños dados de sedimenta- ción, se asientan juntas.

La distribución de tamaños puede obtenerse midiendo la concentración de sedimentos a intervalos dados de profundidad y tiempo de asentamiento, tal como el método de la pipeta, ó por la cantidad de sedimento que permanece en la suspensión después de varios tiempos de asentamiento, como en el método del tubo de descenso de fondo.

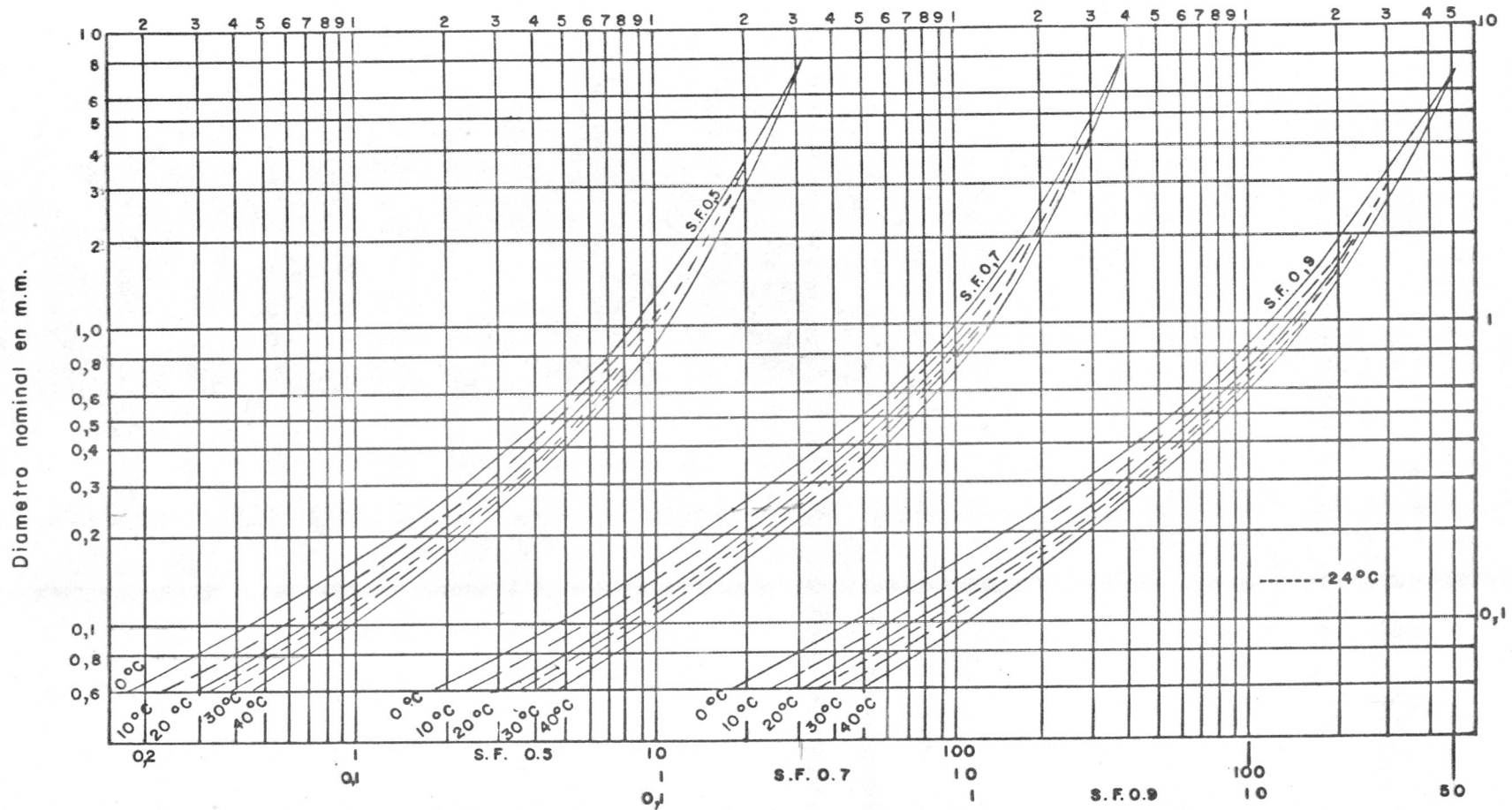
UN SISTEMA ESTRATIFICADO

Es uno en el cual las partículas comienzan a caer desde una fuente común y se hace estratificado de acuerdo con velocidades de asentamiento, como en el método del tubo de acumulación visual. En un instante dado las partículas que van a reposar al fondo del tubo, tienen un tamaño de sedimentación solamente, siendo más finas que las partículas que se habían asentado previamente, y más gruesas que las que permanecen en suspensión.

La escala de gradación de tamaño ó la distribución de los tamaños de clases, es una función descriptiva la cual sirve para colocar sobre una base uniforme la nomenclatura y la terminología. Una escala de gradación ha sido bien definida por Krumbein y Pettijonh (1938, p 36), como una división arbitraria de una escala contfua de tamaños, en la que, cada escala unitaria ó grado, puede servir como un intervalo de clases conveniente para conducir el análisis. En tales escalas de tamaño, se reconoce que un sedimento natural tiene una distribución contfua de tamaños sin implicación del agrupamiento natural.

La escala de gradación de WENTWORTH es la mas usada en América.

FIGURA N°1
VELOCIDAD DE CAIDA EN Cm./Seg



Relación del diámetro nominal y velocidades de caída para partículas de cuarzo naturalmente escogidas con factores de forma (S.F.) de 0,5; 0,7; y 0,9 .

(De fig.2 in Inter-Agency Report N°12 (U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation, 1957 a).)

TABLA N° 2

ESCALAS DE TAMAÑO RECOMENDADOS POR CLASES PARA ANALISIS DE SEDIMENTOS
(SEGUN LANE Y OTROS 1947).

TAMIZ TYLER N° (1)	TAMIZ STANDARD U.S.N° (2)	NOMBRE DE CLASE (3)	UNIDADES (MILIMETROS) (4)		METRICAS (MICROMETROS) (5)		VALOR (Ø) (6)	UNIDADES INGLESAS (PIES) (7)
		PENOÑES -----	> 256				> 0,840	
(2)	(2)	GUIJARROS GRANDES -----	256	- 128			8 0,840	- 0,420
(2)	(2)	GUIJARROS PEQUEÑOS -----	128	- 64			7 0,420	- 0,210
(2)	(2)	GRAVA MUY GRUESA -----	64	- 32			6 0,210	- 0,105
(2)	(2)	GRAVA GRUESA -----	32	- 16			5 0,105	- 0,0525
(2)	(2)	GRAVA MEDIA -----	16	- 8,0			4 0,0525	- 0,0262
2,5	(2)	GRAVA FINA -----	8,0	- 4,0			3 0,0262	- 0,0131
5	5	GRAVA MUY FINA -----	4,0	- 2,0			2 0,0131	- 0,0065
9	10	ARENA MUY GRUESA -----	2,0	- 1,0	2000	- 1000	- 1 0,0656	- 0,00328
16	18	ARENA GRUESA -----	1,0	- 0,50	1000	- 500	0 0,00328	- 0,00164
32	35	ARENA MEDIA -----	0,50	- 0,25	500	- 250	- 1 0,00164	- 0,000820
60	60	ARENA FINA -----	0,25	- 0,125	250	- 125	- 2 0,000820	- 0,000410
115	120	ARENA MUY FINA -----	0,125	- 0,062	125	- 62	- 3 0,000410	- 0,000205
250	230	LIMO GRUESO -----	0,062	- 0,031	62	- 31	- 4 0,000205	- 0,000103
		LIMO MEDIO -----	0,031	- 0,016	31	- 16	- 5 0,000103	- 0,0000512
		LIMO FINO -----	0,016	- 0,008	16	- 8	- 6 0,0000512	- 0,0000256
		LIMO MUY FINO -----	0,008	- 0,004	8	- 4	- 7 0,0000256	- 0,0000128
		ARCILLA GRUESA -----	0,004	- 0,0020	4	- 2	- 8 -----	
		ARCILLA MEDIA -----	0,0020	- 0,0010	2	- 1	- 9 -----	
		ARCILLA FINA -----	0,0010	- 0,0005	1	- 0,5	- 10 -----	
		ARCILLA MUY FINA -----	0,0005	- 0,00024	0,5	- 0,24	- 11 -----	

(1).- Para el tamaño máximo de la clase dada.-

(2).- Las aberturas de tamices se marcan en pulgadas y milímetros.-

Esta escala tiene un intervalo geométrico fijo, con cada grado tan grande como un medio del que le precede, tal cual fué sugerido por Oden en 1898. Las escalas de gradación se basan sin excepción, en intervalos de clases desiguales, como resultado del gran rango de tamaños para la mayoría de los sedimentos. Si intervalos iguales fuesen escogidos para dar completa significación a los tamaños más pequeños, entonces un excesivo número de clases sería necesario y como resultado, no habría virtual significación en tre las clases para los intervalos mayores.

Los intervalos desiguales de clases, pueden hacer que la aplicación del aná lisis estadístico de los datos sea más difícil. La tabla dos (2) da el número para tamices de U.S. Standard y Tyler, y los límites de tamaño para los nombres de cada clase de la escala de gradación recomendada.

La escala PHI, se señala en la columna seis (6) y fué derivada por Krumbein (1934), como una transformación logarítmica que tiene íntegros para los límites de las cla ses que aumentan con la disminución del tamaño del grano. Esta escala fué desarrollada para hacer más fácil y aplicable directamente, las prácticas estadísticas convencionales a los datos de tamaños de sedimentos.

PESO ESPECIFICO

El peso específico es la razón del peso de una sustancia al peso de un volumen igual de agua a 4° C. La medida es por lo tanto adimensional. No debe confundirse con el peso unitario, el cual se define como el peso por unidad de volumen; por ejemplo el agua tiene un peso unitario de un gramo por centímetro cúbico (gr/cm^3) y en el peso es pecífico es de 1.0 (a 4°c).

TEORIA DE LA CAIDA DE PARTICULAS EN UN FLUIDO

La tabla tres (3) ilustra la posición relativa de las partículas más finas presentes comunmente en muestras de sedimentos, con respecto a las subdivisiones particulares de la materia. La tabla también contiene una lista de las propiedades de cada rango de tamaño dado, así como información relacionada tal como límites de resolución del microscopio y diámetro de los poros de varios tipos de materiales en filtros. Ordinariamente, los análisis de tamaño de sedimentos se hacen solo para materiales por encima de aproximadamente 0.002 mm (milímetros) en la categoría de las suspensiones gruesas. Posteriores separaciones requieren tiempo excesivo y carecen de valor práctico en trabajos de ingeniería hidráulica; sin embargo, en muchos campos del conocimiento científico puede ser útil, la distribución del tamaño de material más fino que 0,002 mm (milímetros)

EL MEDIO DE ASENTAMIENTO

La mayoría de los métodos para determinar la distribución y gradación de tamaño de las partículas, se basan en la acción, tamaño y concentración de partículas en el fluido. Las industrias de cerámicas, cementos, abrasivos y pinturas acompañan usualmente la separación de las clases de tamaño, por columnas ascendentes de aire. En los campos de la Geología, Suelos e Hidráulica Fluvial, el agua quieta es el medio de asentamiento más común. Cualquiera que sea el medio que envuelve la medida de la tendencia de las partículas de peso específico similar a caer con una rapidez, es aquél relacionado con el tamaño y forma de las partículas. Diversas leyes ó definiciones matemáticas se han desarrollado para expresar la relación de tamaño de partículas, con la velocidad de

TABLA N^o 3
LA SUBDIVISION DE LA MATERIA Y SUS PROPIEDADES RESULTANTES

CARACTERISTICAS DE TAMAÑO				
MILIMETROS ----- ^{mm} -----	1-0,001	0,001-0,0001	0,0001 - 0,00001	0,00001-0,000001
MICROMETROS ----- ^μ -----	1.000-1	1-0,1	0,1 - 0,001	0,001-0,0001
NANOMETROS ----- ^{nm} -----	1.000.000-1000	1.000-100	100-1	1-0,1
NUMERO RELATIVO EN PARTICULAS---	1-10 ⁹	10 ⁹ -10 ¹²	10 ¹² -10 ¹⁸	10 ¹⁸ -10 ²¹
SUPERFICIE RELATIVA DE LAS PARTICULAS	1-10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁶ -10 ⁷

<u>CUALIDAD ESTUDIADA</u>	<u>SUSPENSION GRUESA</u>	<u>SUSPENSION COLOIDAL</u>	<u>SOLUCION COLOIDAL</u>	<u>SOLUCION MOLECULAR</u>
APARIENCIA DEL AGUA	MUY TURBIA	TURBIA	CLARA	CLARA
PARTICULAS OBSERVADAS	A SIMPLE VISTA	CON MICROSCOPIO	CON EL ULTRA MICROSCOPIO	NO PUEDE SER OBSERVADA
RATA DE ASENTAMIENTO	RAPIDAMENTE O DE UN DIA PARA OTRO.	LENTAMENTE O DEL TODO	NO SE ASIENTAN	NO SE ASIENTAN
PARTICULAS SEPARADAS DEL AGUA	CON PAPEL DE FILTRO	CON FILTROS DE ARCILLA	CON ULTRA FILTROS	NI POR FILTRACION
DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.	TAMICES, MICROSCOPIO, GRAVEDAD O ASENTAMIENTO CENTRIFUGO	MICROSCOPIO, ASENTAMIENTO CENTRIFUGO, ABSORCION O DISPERSION DE LA LUZ	ULTRA MICROSCOPIO ULTRA CENTRIFUGA	ULTRA CENTRIFUGA
DESPUES DE LA EVAPORACION SEPARADOS DEL SUELO	POLVO SUELTO ARENA, LIMO Y ARCILLA	POLVO Y GELES ARCILLA EN SUSPENSION	GELES ULTRA ARCILLA	CRISTAL SOLUCION DE SUELO

NOTA: LIMITE DE LAS MEDIDAS DE TAMAÑO DEL MICROSCOPIO Y MATERIALES FILTRABLES.-

LIMITE DEL MICROSCOPIO (LUZ ULTRA VIOLETA) -----	100 μ
LIMITE DEL ULTRA MICROSCOPIO -----	10 μ
LIMITE DEL ULTRA FILTRO -----	1 μ
EL MOVIMIENTO BROWNIAN SE INICIA -----	5 μ
DIAMETRO DE LOS POROS DEL PAPEL DE FILTRO ENDURECIDO -----	1,5 μ 2,2 μ
DIAMETRO DE LOS POROS DEL PAPEL CHAMBERLAND -----	0,2 μ-0,4 μ
DIAMETRO DE LAS BACTERIAS -----	0,5 μ-1,2 μ
DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EQUIVALENTES AL TAMIZ 200 MESH -----	74 μ

(De la tabla I, Committee U.S Inter-Agency on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation, 1941)

asentamiento.

Estas leyes especialmente la ley de STOKES, sirven de base para muchas técnicas de separación de tamaño de partículas en las clases de limo y arcillas. Particularmente importante para la discusión que sigue, son los métodos de la pipeta y el tubo BW (Botton-Withdrawal Tube), y para la mayoría de los análisis de partículas al tubo VA se usa para tamaños 0.062 mm y mayores.

Este último tiene la ventaja de ser un método hidráulico y ayuda a asegurar la continuidad entre las clases de tamaño que representan el rango de los finos del de las partículas más gruesas. En la siguiente discusión, se asume que el medio de asentamiento es el agua; debido a que es el medio universal de los sedimentos fluviales y tiene la mayoría de las características físicas para uso analítico.

LEY DE STOKES PARA PARTICULAS FINAS

La naturaleza del movimiento de las partículas en un medio de asentamiento depende de un balance de las fuerzas de aceleración y retardatrices, las cuales a su vez dependen del tamaño, forma y densidad de las partículas, y la viscosidad y/o turbulencia inducida en el fluido. La resistencia al movimiento, puede ser uno cualquiera de los tres tipos de arrastre (ROUSSE, 1938; U.S. Inter Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentación 1941, p 24); (1) de deformación, (2) de superficie, (3) de forma, dependiendo de las interrelaciones de las características de la partícula y fluido. El arrastre de deformación, es la resistencia debido enteramente a la viscosidad del fluido, así como el movimiento relativo del fluido se extiende a una distancia considerablemente

alejada de la partícula. La Ley de Stokes expresa la caída viscosa bajo tales condiciones; usualmente para partículas de sedimentos de cuarzo más finas que 0.062 mm. Si la velocidad de caída de las partículas, es algo más rápida que el rango normal dado por la Ley de Stokes, entonces los efectos inerciales del fluido, reducen la influencia viscosa a una capa muy delgada alrededor de la partícula, la cual produce un efecto de arrastre superficial. Para partículas de mayor tamaño, el efecto inercial del fluido se hace considerablemente importante en el flujo alrededor de la partícula, y por lo tanto, predomina el tipo de resistencia de forma. Tal flujo, causa una dilatación o un área de baja presión detrás de la partícula, y se origina turbulencia; el resultado neto es, una fuerza que se opone al movimiento.

La Ley Stokes tal como fué desarrollada en 1851, establece que la caída de una partícula en un fluido es igual a la fuerza neta hacia abajo de la partícula. Recordando que dicha fuerza es la fuerza de gravedad actuando sobre la partícula esférica, menos la fuerza de flotación del fluido, ó $\frac{4}{3} (\pi r^3 \rho_s g) - \frac{4}{3} (\pi r^3 \rho_f g)$ entonces estas fuerzas se pueden establecer como: $6\pi r \mu v = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_s - \rho_f)$ donde:

- r = radio esfera en cm
- μ = viscosidad dinámica del fluido dinas/seg/cm.
- v = velocidad de caída cm/seg
- g = aceleración debido a la gravedad; 980 cm/seg²
- ρ_s = densidad de la esfera grs/cm³
- ρ_f = densidad del fluido grs/cm³

La velocidad de caída como la define la Ley de Stokes es:

$$v = \frac{2}{9} \frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} g r^2 = \frac{2}{24} \frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} d^2$$

Asumiendo que el peso específico de la partícula es 2.65 y que el agua es el

medio de asentamiento, la velocidad de caída es:

$$v = \frac{0.8983 d^2}{\mu} \quad \delta \quad d = \frac{\sqrt{\mu v}}{0.9487} = 1.054 \sqrt{\mu v}$$

donde d = diámetro de la partícula en mm.

La figura 2 da una solución gráfica a la Ley de Stokes para una temperatura del agua de 20° C. Cuando las temperaturas son diferentes de 20° C se emplean los factores de corrección de viscosidad para usar con el gráfico y están tabulados en la tabla 4.

Las premisas básicas en la aplicación de la Ley de Stokes son:

- 1 Que las partículas son de suficiente tamaño, para vencer el movimiento BROWNIANO ó son suficientemente grandes para que el fluido sea considerado homogéneo en relación al tamaño de las partículas.
- 2 Que las partículas son lisas y rígidas, de forma aproximadamente esférica.
- 3 Que las partículas estén cayendo a una velocidad uniforme como lo harían en un fluido de extensión ilimitada con la resistencia de caída debida solamente a la viscosidad del fluido.

Estas premisas no son en general, difíciles de satisfacer (U.S. Inter Agent Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation, 1941, p 33-36).

La mayor consideración debe darse al efecto de las proximidades de las partículas entre sí, mientras que el efecto de deformación se extiende a la senda de las partículas vecinas. Es también concebible que un grupo de partículas creando una región de alta concentración, pueda causar un área localizada de densidad mayor que el medio de asentamiento, asentándose como una unidad a una rapidez anormalmente alta. La esferi-

idad de la partícula no tiene mayor importancia puesto que la velocidad de la partícula se compara con el diámetro de sedimentación, ó el nominal para la mayoría de las partículas.

Desde el punto de vista práctico, una consideración de la forma de estas partículas finas para los propósitos de relacionar la velocidad de asentamiento al tamaño físico, podría ser una tarea inmensa, de ello el uso del concepto del diámetro de sedimentación.

RELACIONES ENTRE EL NUMERO DE REYNOLDS Y EL ARRASTRE

La Ley de Stokes no es aplicable a partículas de cuarzo mayores que aproximadamente 0.060 mm. cayendo en agua, debido a que los efectos inerciales del fluido reducen la influencia viscosa. El número de Reynolds (R) indica la razón de las fuerzas inerciales a las fuerzas viscosas, y, por lo tanto el carácter de la resistencia a la caída. Para partículas esféricas cayendo en un fluido, R es una cantidad adimensional definida como $\sqrt{d} P_s / \mu$. La resistencia a la caída de estas partículas mayores es $C_d A v^2 P_s / 2$ donde C_d es el coeficiente de resistencia y A es el área de la sección proyectada de la partícula. Esta resistencia es igual a la fuerza neta hacia abajo, tal como previamente se señaló al derivar la Ley de Stokes. La relación entre C_d y R se ha establecido empíricamente, para esferas y para algunas otras formas.

Los datos indican que la Ley de Stokes es aplicable hasta $R = 0.1$ y algunas veces hasta 0.4.

La relación entre C_d y R es de interés académico solamente, debido a que los

DIAMETRO DE LA ESFERA EN M.M

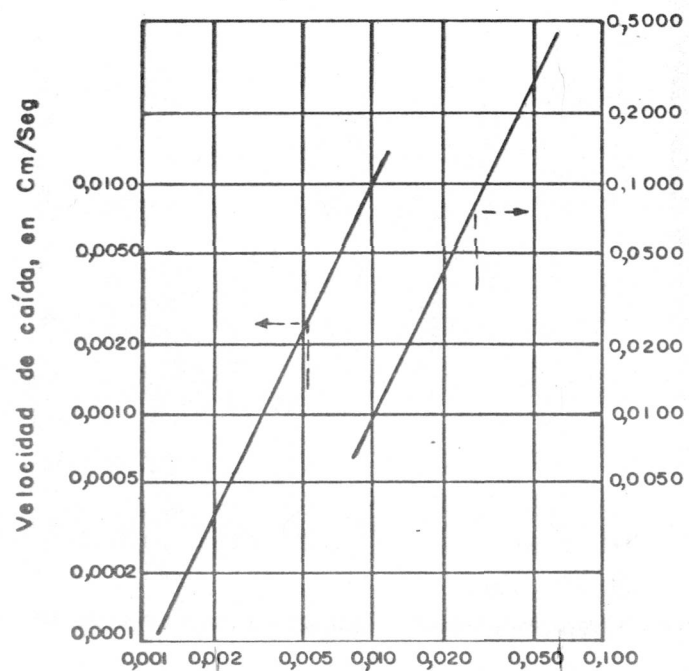


FIGURA N° 2

Relación entre la velocidad de caída y el diámetro (Ley de Stokes) para esferas de cuarzo en agua a 20 °C .-

CONCENTRACION DE SOLIDOS DISUELTOS
EN MILIGRAMOS POR LITRO

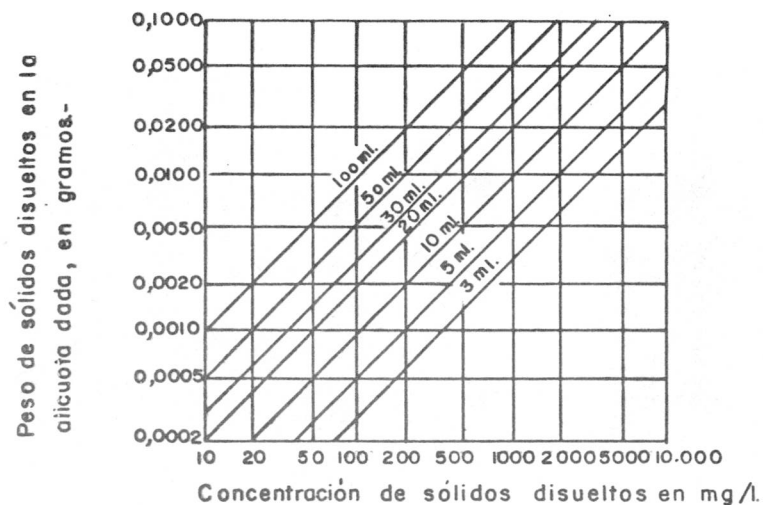


FIGURA N° 3

Peso de los sólidos disueltos para un tamaño dado de alicuota y una concentración dada.-

TABLA N° 4

FACTORES DE CORRECCION DE LAS VELOCIDADES DE CAIDA PARA USAR CON
 LA FIG.2, CUANDO LAS TEMPERATURAS SON DIFERENTES DE 20 °C.-

TEMPERATURA	FACTOR DE CORRECCION ($\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$)	TEMPERATURA	FACTOR DE CORRECCION ($\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$)
18	1,051	29	0,811
19	1,027	30	0,794
20	1,000	31	,776
21	,976	32	,760
22	,953	33	,746
23	,930	34	,729
24	,908	35	,714
25	,887	36	,700
26	,867	38	,673
27	,848	48	,648
28			

FIGURA Nº4

PLANILLAS DE CONCENTRACION DE SEDIMENTOS. MUESTRAS INTEGRADAS EN LA PROFUNDIDAD
(FORMA CORTA)

Río y Localización _____ Computado por _____ Revisado por _____

Fecha										
Tiempo										
Altura de mira										
Estación de muestreo										
Temp. y Cond. Espec.										
Observación										
Peso de la muestra	Total									
	Tara									
	Neto									
Contenido Nº										
Peso del Sedimento	Total									
	Tara									
	Neto									
	Correc. S.D.									
	Neto									
Concentración (P.P.M)										
Fecha										
Tiempo										
Altura de mira										
Estación de muestreo										
Temp. y Cond. Espec.										
Observación										
Peso de la muestra	Total									
	Tara									
	Neto									
Contenido Nº										
Peso del Sedimento	Total									
	Tara									
	Neto									
	Correc. S.D.									
	Neto									
Concentración (P.P.M)										

PLANILLAS DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA. NOTAS DE CONCENTRACION DEL SEDIMENTO
MUESTRAS INTEGRADAS EN LA PROFUNDIDAD.

FIGURA N°5

NOTA DE CONCENTRACION DE SEDIMENTOS. MUESTRAS INTEGRADAS EN LA PROFUNDIDAD
(FORMA COMPREHENSIVA)..

Río y Localización _____ Computado por _____ Revisado por _____

Fecha																				
Tiempo																				
Altura de mira																				
Descarga																				
Temperatura																				
Estación de muestreo																				
Peso de la Muestra	Total																			
	Tara																			
	Neto																			
Contenido N°																				
Peso del Sedimento	Total																			
	Tara																			
	Neto																			
	Correc. S.D.																			
	Neto																			
Conc. (P.P.M.)																				
PH																				
Conductancia Especifica	R (K Cl)																			
	R (Muestra)																			
	Temp. °C																			
	Micromhos at 25 °C																			
Sólidos Disueltos	Vol. (ml)																			
	Peso Total																			
	Peso de la Tara																			
	Peso Neto																			
	S.D. (mg/l)																			

PLANILLA DE LABORATORIO PARA LA MUESTRA. MUESTRAS INTEGRADAS EN LA PROFUNDIDAD.

FIGURA N° 6

NOTAS DE CONCENTRACION DEL SEDIMENTO. MUESTRAS PUNTUALES E INTEGRADAS

Río y Localización _____ Computado por _____ Revisado por _____

Fecha																			
Tiempo																			
Altura de mira																			
Descarga																			
Estación de muestreo																			
Temperatura																			
Profundidad de muestreo																			
Profundidad Total																			
Tiempo de llenado																			
Peso de la Muestra	Total																		
	Tara																		
	Neto																		
Rata de llenado																			
Tamaño de la boquilla																			
Velocidad																			
Conductancia Específica																			
Contenido N°																			
Peso del Sedimento	Total																		
	Tara																		
	Neto																		
	Correc. S.D																		
	Neto																		
Concentración (P.P.M)																			

PLANILLAS DE LABORATORIO PARA LAS MUESTRAS. NOTAS DE CONCENTRACION DEL SEDIMENTO
MUESTRAS PUNTUALES E INTEGRADAS.

les de agua libre de sedimentos de cada muestra diaria de sedimentos. Cuando la muestra es simple de un día o esta compuesta de varios días, se evapora hasta secarla, se calienta a 110° C hasta una hora, se enfría en un desecador y se pesa para obtener un peso unitario. La corrección por sólidos disueltos (SD) a ser aplicada al peso seco de los sólidos de sedimentos en cada disco de evaporación, es igual al producto de la corrección del volumen unitario por el volumen de agua evaporada del disco. Véase páginas 26 y Fig 4.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE LA CONCENTRACION

Con la información arriba dada, es posible compilar el siguiente procedimiento paso a paso para el análisis de concentración:

- 1 Inspeccione las condiciones generales de las muestras tal cual son recibidas en el laboratorio. Las cápsulas sueltas deben reemplazarse y las botellas con sucio exterior excesivo, deben limpiarse.
- 2 Almacene las muestras en un cuarto oscuro y frío para prevenir la evaporación excesiva y el crecimiento de organismos*.
- 3 Arregle las muestras para una localización dada según un orden cronológico mientras son colocadas para su transporte a la estación donde son pesadas.
- 4 En la estación de pesar las muestras, deberá registrarse la información de las etiquetas en las planillas apropiadas de concentración (ver fig 4-5-6).
- 5 Regístrese el peso bruto y de tara de las muestras, con una aproximación de 1 Gr (gramo) para cada muestra, asumiendo que el peso neto de la muestra exceda de 200 Gr. A menudo, es deseable, usar una

* Ríos con elevados porcentaje de sedimento fino han mostrado un rápido crecimiento de algas, especialmente cuando se usan dispersantes sódicos ej: Río Tocuyo (nota del traductor).

balanza con una tara removible adosada y un procedimiento que lleve directamente al peso neto de la muestra. Esto evita los errores de computación y de copiado, pero exige mucha responsabilidad del operador.

- 6 Almacene las botellas pesadas en un armario ó tablón por varias horas o de un día para otro. Asegúrese que el sedimento en suspensión se ha asentado.
En caso de que el sedimento no se asiente, siga el procedimiento descrito en la nota (A). Las muestras a ser analizadas por distribución del tamaño de las partículas deben ser separadas de aquellas a ser analizadas solamente por concentración
- 7 Algunos laboratorios en este punto, obtienen y registran conductancia del agua flotante para cada par o cada muestra, esto no se publica, pero se usa como un control de la persona que toma las muestras y como una ayuda para encontrar y con seguir los errores cometidos en el registro de los datos de campo y laboratorio, en este caso puede ser usada la planilla comprensiva (figura 5).
- 8 Decantar la mayoría del agua libre de sedimento teniendo cuidado de no perturbar o remover el sedimento. Si es necesaria una corrección por sólidos disueltos cuando se usa el método de evaporación, entonces la suma del líquido flotante que se saque con el sedimento, debe ser igual a una de las alcuotas indicadas en la figura 3.
- 9 Use agua destilada para lavar el residuo del disco de evaporación previamente pesado ó crisol de filtración, dependiendo del método usado. Verifique si es cierto que el número del contenido sobre la planilla de Notas de Concentración del Sedimento, corresponde con la muestra ó muestras dadas.
- 10 Las botellas de muestras deben limpiarse completamente, secar se al aire, retaparse y empacarse en cajas para su transporte y reuso.
- 11 Secar los discos de evaporación ó crisoles y después que hayan perdido toda el agua visible, calentarlos como a 110°C por una hora. Los discos de evaporación deben secarse a una temperatura suficientemente baja para prevenir las "salpicaduras" de sedimento de los discos, por la acción de la ebullición.

- 12 Enfríe los recipientes en un desecador a la temperatura ambiente.
- 13 Pese los recipientes con una aproximación de 0,0001 Gr en una balanza analítica, el peso de tara del disco de evaporación debe obtenerse antes de cada uso, dadas las pérdidas de peso causadas por pequeñas astilladuras, por el lavado frecuente, y por las ligeras diferencias en los métodos de limpieza y lavado. El peso de tara de los crisoles debe obtenerse antes de cada uso, debido a las diferencias de peso de las mallas de filtración, especialmente cuando son usadas las mallas de asbesto. Si las concentraciones del sedimento son mayores que 1000 mg/l, entonces puede no ser necesario obtener un nuevo peso de tara cada vez que se usa el crisol con un filtro de fibra de vidrio.
- 14 Determine el peso del sedimento en el recipiente y si es necesario, dedúzcale la corrección por sólidos disueltos.
- 15 Calcule la concentración de la muestra en PPM, determinado en base a un millón de veces, la razón de peso neto del sedimento al peso neto de la mezcla de agua y sedimento.

Las PPM computadas, pueden ser expresadas en una unidad común de mg/l aplicando el factor de conversión dado en la tabla 1. Es conveniente hacer la conversión de PPM a mg/l cuando los datos son transferidos de las planillas de Notas de Concentración del Sedimento a otros usos. Generalmente las concentraciones son menores que 16.000 PPM en cuyo caso, PPM son equivalentes a mg/l. Sin embargo, cuando la concentración excede a 16.000 PPM, el factor apropiado de conversión deberá escribirse debajo de las concentraciones sobre la planilla, como un recuerdo de que los datos usados en mg/l son diferentes a las partes por millon (PPM).

DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

La definición completa de las variaciones de la distribución del tamaño de las partículas para una corriente a través de los rangos de descarga y con el tiempo no es

en el presente económicamente factible. Es factible sin embargo, analizar un número suficiente de muestras que provean datos representativos, para un rango de muchas condiciones que ocurren a través del año.

Los datos de granulometría tienen muchos usos; un uso es, calcular el peso específico probable del sedimento cuando se deposite en embalses. Este cómputo, requiere representar el diámetro medio de las partículas contra la carga de sedimentos en toneladas por día (ton/día). La información relacionada con el comportamiento de las partículas de sedimentos pueden estudiarse en diferentes ambientes y por lo tanto, requieren análisis para la distribución del tamaño de las partículas finas tanto en un medio natural como en un medio de asentamiento disperso. La distribución de tamaño de ambos tanto de material en suspensión como de lecho, tienen un importante uso en el cómputo total de la descarga del sedimento (medido más no medido).

La frecuencia y tipo de análisis de tamaños de las partículas han de ser adecuados para describir las características pertinentes de las partículas de sedimentos, así que puedan hacerse comparaciones satisfactorias entre sedimentos tomados a diferentes tiempos.

FRECUENCIA RECOMENDADA PARA LOS ANALISIS

Las siguientes recomendaciones son para la determinación de las últimas partículas mediante el uso de un medio de asentamiento en agua destilada y un dispersante químico, para la fracción de limo y arcilla. La frecuencia recomendada para los análisis en agua natural, se discuten en la sección "medio de asentamiento en agua natural" en relación a las teorías, problemas y métodos de tales análisis, cada muestra debe ser integrada en la profundidad y debe representar la distribución real del tamaño en la sección a

ese tiempo de muestreo, así como para la mayoría de los ríos, las muestras deben ser tomadas por el método del RIT (rápidez de igual tránsito) ó por muestreo de un número adecuado de los centroides de igual descarga. Si las muestras tomadas diariamente en una vertical cerca del medio del río, es representativa de las características del sedimento en la sección entera, la sección sería normalmente adecuada para cubrir amplios rangos de las condiciones de flujo.

Los criterios respecto a la captación de las muestras, pueden valorizarse con un estudio de las condiciones con que se seleccionaron las muestras para el análisis del tamaño de las partículas en una estación dada si eran disponibles, y/o por un estudio de la información de los registros del muestreo y las planillas de las notas de concentraciones del sedimento (figura 4) para el correspondiente año hidrológico. Para muchos ríos la información sobre las características de sedimentos se retrasa generalmente durante los primeros cinco años de muestreos en una corriente dada; por lo tanto algunas muestras particularmente de altos niveles deben ser conservadas, para ser analizadas posteriormente; tales como tamaño de partículas ó concentraciones al final del año hidrológico cuando sean conocidos los hechos respecto al rango y otras condiciones del flujo anual. Estas muestras adicionales por lo tanto deben ser etiquetadas, pesadas, y almacenadas en un sitio oscuro.

Los análisis del tamaño del sedimento en suspensión para las denominadas estaciones diarias deben hacerse a un mínimo de 5 a 6 muestras por año si se seleccionan para representar las diversas condiciones de flujo y concentraciones. Muestras adicionales por encima de 30, pueden ser deseables para nuevas estaciones ó para definir la distribu-

ción de tamaños durante períodos no usuales de altos escurrimientos, para representar un rango de descarga del río ó alguno de los patrones de escurrimiento de áreas. El mínimo número de muestras puede reducirse por necesidad, por causa del bajo escurrimiento, debido a sequías prolongadas, ó en el caso de extremadamente bajas concentraciones de sedimentos (Inapreciable carga de sedimentos *).

Los análisis de tamaño de partículas deben hacerse en un mínimo de un quinto de las observaciones para las estaciones operadas, sobre una base periódica. El número depende de la frecuencia del muestreo, las condiciones de las corrientes y el uso perseguido con los datos. Cuando sea posible, un número deseado debe colocarse como guía, a un tiempo programado para la estación.

La computación de la carga de sedimentos totales "medido ó no medido" requiere el uso de datos de distribución de sedimentos en suspensión, incluido el tiempo de observaciones. Los programas de arriba para determinar el tamaño de las partículas, pueden incluir la consideración de los tiempos requeridos para el cómputo de la carga total.

METODOS DE ANALISIS. LIMITACIONES

Las limitaciones específicas de los varios métodos de análisis serán discutidos en cada uno de los métodos que se presenten en las secciones siguientes. La tabulación a los lados, dan una guía para el tamaño y análisis de la concentración o la cantidad de

* Nota del Traductor

sedimentos necesario para cada tipo de análisis. Este conocimiento puede facilitar hacer, las decisiones necesarias ó cuantas botellas de muestras son necesarias, cuanto cuarteo o separación se requiere, o cuál es la mejor técnica de análisis de tamaños a ser empleada.

MEDIO DE ASENTAMIENTO DISPERSO

El programa que implica el análisis de sedimentos en ríos, debe poner mayor énfasis en la determinación del tamaño de las partículas mediante el uso de métodos que disminuyen la formación de flóculos y así representar las condiciones "normalizadas". El método de análisis recomendado para determinar la distribución del tamaño de las partículas en un medio de asentamiento disperso, es por necesidad, una combinación de métodos. Por ejemplo, cuando se analiza en el laboratorio un gran número de muestras usando el método de la pipeta y el tubo VA, para la mayoría de las muestras. El tubo VA se prefiere al tamizado debido a que los resultados de los análisis se expresan en diámetros de sedimentación, el cuál es más práctico para el estudio de la deposición y transporte de sedimentos. Sin embargo, para comparar el diámetro de sedimentación con el tamaño actual determinado por tamizado, dos o tres análisis (10 ó 15% del total si más) por estación, deberían hacerse con tamices para el primer o dos años de operación.

Los resultados de ambos métodos se publican entonces para la muestra dada.

En la misma forma, un laboratorio a "pequeña escala" no equipado con un tubo VA, pero que use el método del tamizado-pipeteado, debe enviar la fracción de arena de tres o cuatro muestras de cada estación a un laboratorio que tiene un tubo VA para los análisis comparativos.

Muchos laboratorios pueden emplear más consumo de tiempo y posiblemente

obtener menos seguridad con el método del tubo BW, debido a una cantidad insuficiente de sedimentos en la mayoría de las muestras. Sin embargo cuando sea posible, una cantidad suficiente de sedimentos debe ser tomada para permitir el análisis por el método del pipeteado-tubo VA. El aumento del tiempo para obtener el material adicional por acumulación de muchas muestras, generalmente, es más que compensado por la disminución del tiempo requerido para el análisis y los cálculos.

Teóricamente el tubo BW puede definir el diámetro de sedimentación para arenas hasta de 0,350 mm, pero el análisis se simplifica considerablemente si se remueve la arena por lavado al tamiz, dejando solamente los tamaños de limo y arcilla para el análisis con el tubo BW. Las partículas mayores que 0,350 mm. y preferiblemente mayores que 0,062 deben removerse por lavado al tamiz y analizarse por el método del tamizado si no se dispone de un tubo VA (ver sección sobre "tamizado").

En otras partes de este capítulo, se dan procedimientos detallados para hacer el análisis por varias combinaciones de métodos de sedimentación y tamizados. Para la mayoría de las estaciones cuando se usan los métodos de tamizado-pipeteado, y pipeteado-tubo VA, solamente las siguientes divisiones de tamaño necesitan determinarse: 0,002; 0,004; 0,016; 0,062; 0,125; 0,500; 1,00 y 2,00 mm. Esto es cierto especialmente, cuando el diámetro medio está en el rango de la arena. Si el diámetro medio está en el rango del limo, entonces deben ser determinados los tamaños de 0,008 y 0,031 mm. Cuando las muestras son cuarteadas para el análisis, todos los tamaños de arriba, incluidos los tamaños de 0,008 y 0,031 mm, deben determinarse tanto en un medio de asentamiento químicamente disperso, como en un medio de agua natural. Si se usa el método

TABLA Nº5

GUIA PARA SELECCIONAR EL TAMAÑO DEL TUBO VA.

CANTIDAD DE MUESTRA		MAXIMO TAMAÑO DE LAS PARTICULAS		TUBO DE SEDIMENTACION	
PESO SECO EN GRS.	VOLUMEN DE ARENA (M.L.)	DIAMETRO DE CAIDA (M.M.)	DIAMETRO DE TAMIZADO (M.M.)	LONGITUD	DIAMETRO (M.M.)
0,05 - 0,8	0,03 - 0,5	0,25	0,25	120	2,1
0,4 - 2,0	0,2 - 1,2	,35	,40	120	3,4
0,8 - 4,0	0,5 - 2,4	,50	,60	120	5,0
1,6 - 6,0	1,0 - 4,0	,70	1,00	120	7,0
5,0 - 15,0	3,0 - 9,0	-----	2,00	180	10,0

	RANGO DE TAMAÑO EN (MM)	ANALISIS DE CONCENTRACION EN (MG/L)	CANTIDAD DEL SEDIMENTO EN (G)
TAMICES	0,062 - 32	-----	<0,05
TUBO V.A. 1	0,062 - 2,0	-----	0,05 - 15,0
PIPETA	0,002 - 0,062	2.000 - 5.000	1,0 - 5,0
TUBO B.W. 2	0,002 - 0,062	1.000 - 3.500	0,5 - 1,8

TABLA Nº 5 A

1 VER TABLA Nº 5 PARA MAS DETALLES.-

2 SI ES NECESARIO PUEDE SER EXPANDIDO PARA INCLUIR ARENA HASTA DE 0.35 M.M. LA SEGURIDAD DECRECE CUANDO AUMENTA DE TAMAÑO. ESTA CONCENTRACION REQUERIDA Y LA CANTIDAD PUEDE SER AUMENTADA.-

del tubo BW los tamaños adicionales deben calcularse de la curva de Oden, con poco esfuerzo adicional.

Los análisis con la pipeta se hacen usando tanto 500 ó 1000 ml de suspensión con un rango en la suspensión de 2.000 a 5.000 mg/l. sin embargo, si no se dispone de suficiente sedimento para obtener una concentración de 2.000 mg/l para una suspensión de 500 ml de suspensión, pueden usarse menos de 500 ml de suspensión.

Aunque no se recomiendan para uso general, tales análisis abreviados con pipeta, en los cuales solamente se hacen las determinaciones de 0.002; 0.004 y 0.016 mm pueden ser convenientemente realizados usando tan poco como 200 ml de suspensión. Disminuyendo el volumen de suspensión y el número de tamaños determinados, y con el uso de profundidades de descenso de 3 y 5 cm ó menos, los análisis con pipeta pueden hacerse suficientemente seguros, usando tan poco como 0,4 gr de limo y arcilla. De esta manera, por reducción de volumen de suspensión, los análisis con pipeta pueden hacerse en muestras que contienen una pequeña cantidad de sedimento, el cuál de otro modo tendría que ser analizado por el método del tubo BW con un mayor consumo de tiempo y posiblemente con menos seguridad.

Cuando las muestras contienen algunos tipos de arcillas, se encuentran dificultades considerables con el tamizado, especialmente en la separación inicial de los finos de las arenas, debido a que no es posible obtener una completa dispersión y limpieza de las partículas de arena. El tratamiento por métodos ultrasónicos previos al tamizado, se ha encontrado útil (Kravitz, 1966; Moston y Johnson 1964). Se recomienda un dispositivo que tenga un rango de potencias de operación tal como el "Sonifier" Branson Modelo

S-75

El procedimiento que usa este dispositivo solamente requiere que el brazo del Sonifier se sumerja en agua y sedimento, a una profundidad de 1 cm y se opere de 3 a 5 minutos. El contenido entonces sería vertido inmediatamente en un tamiz con diámetro de tres pulgadas (7,5 cm) y el material se lava sobre el tamiz con un rociado de agua destilada. El limo y la arcilla así tratados pasarían a través del tamiz sin obstruirles, y este procedimiento reduce la cantidad de tiempo y la cantidad de agua requerida para el lavado del tamiz. El tratamiento ultrasónico, no debe usarse en sedimentos a ser analizados en un medio de asentamiento en agua natural.

MEDIO DE ASENTAMIENTO EN AGUAS NATURALES

La predicción del comportamiento de la caída de las partículas de sedimentos en diferentes ambientes es difícil debido a que hay muchos tipos de sedimentos fluviales siendo transportados en un medio que tiene amplias variaciones o en el tipo y concentración de los constituyentes químicos. El conocimiento incompleto del comportamiento de las pequeñas partículas especialmente minerales arcillosos, complican el problema de predecir el comportamiento de la partícula. El problema es más agudo en situaciones donde la arcilla y tal vez el limo fino, tienden a formar flóculos en agua natural. Generalmente si el agua nativa tiene un bajo contenido de SD y/o sodio como catión dominante en la solución, las partículas finas pueden comportarse como unidades discretas. Muchas aguas de ríos tienen bajos contenidos en SD ó contienen altas concentraciones de sodio y por lo tanto los problemas bajo discusión, tienen poca aplicación en la mecánica del transporte de sedimentos en el flujo de corrientes.

El uso de los métodos de asentamiento para análisis de tamaño se basan en la definición de que el diámetro de sedimentación de una partícula discreta, es el diámetro de una esfera que tiene el mismo peso específico y la misma velocidad de caída o termi-

nal uniforme, que la partícula dada. Los análisis de tamaño en los cuales el agua natural es el medio de asentamiento, puede violar estas teorías en dos formas:

- 1 Las partículas en suspensión se agregan en forma suelta justamente para formar masas en las cuales, tanto el tamaño como la densidad están cambiando con el tiempo, tales masas caen más rápidamente que las partículas componentes pero por causa de su denso agregado, caen más lentamente que una esfera de cuarzo con el mismo diámetro nominal.
- 2 Los flóculos pueden estar en un proceso de acreción mientras se asientan y por lo tanto tendrán una velocidad y aceleración creciente, más bien que una velocidad de caída terminal constante. En conexión con el punto 1, los flóculos pueden tener una densidad entre la del agua y el de los componentes de las partículas discretas. Esta gran irregularidad en los flóculos se deben probablemente a el arrastre de forma en adición al arrastre viscoso, así la velocidad de asentamiento y consecuentemente el diámetro de sedimentación para muchas partículas en agua nativa, resultan de factores complicados y probablemente indeterminados. En ausencia de las fuerzas de difusión de turbulencias ó corte, la estabilidad de una suspensión está principalmente controlada por la magnitud del potencial Z ó electrocinético, asociado con las partículas individuales. Este potencial puede definirse como el potencial entre las capas de iones inmóviles adsorbidos sobre la superficie de la partícula y los iones extremos móviles asociados con la partícula.

La mayoría de las partículas de arcilla tienen una carga negativa y emigran al polo positivo si se colocan entre dos electrodos de signos diferentes. La velocidad de migración es proporcional al potencial negativo. El potencial Z es una importante indicación de las propiedades de los coloides. Cuando este potencial es suficientemente alto las partículas pueden repelerse entre si, pero cuando se baja a un punto llamado el potencial crítico (por adición de un electrolito, o un cambio en las características del agua), la doble capa eléctrica asociada con la partícula coliden y el material flocula.

En un río natural, la estabilidad de las partículas en una mezcla de agua y sedimento, está controlado por un movimiento de turbulencia continuo, así también como por el potencial Z; mientras que en el laboratorio la estabilidad está controlada solamente por el potencial Z. La información relacionada con el grado de floculación del sedimento suspendido en una corriente natural, es así deficiente por causa de que las condiciones naturales no pueden simularse durante los análisis de tamaño en el laboratorio. Otras variables que influyen la cantidad de floculación que ocurre en los análisis de sedimentos, en un medio de asentamiento de agua natural son:

- 1 Las características del agua en términos del tipo y concentraciones de los constituyentes disueltos.
- 2 El tipo de mineral arcilloso.
- 3 La naturaleza de los iones asociados con la partícula antes de entrar en el flujo.
- 4 La concentración del sedimento en el análisis de suspensión. La compleja interacción y efectos de esta variable, hacen obvio que los datos obtenidos de los análisis de tamaño en agua natural, son difíciles de interpretar y, por lo tanto, no son fácilmente aplicados a la solución de los problemas de sedimentación. Los resultados de tales análisis para algunos ríos se encuentra que son altamente variables dependiendo del nivel, estación u otros factores, sin embargo, para otros, los resultados son relativamente altamente uniformes indicando un grado similar de floculación bajo condiciones hidrológicas variables.

En una forma similar, las muestras de algunas corrientes señalan una marcada diferencia en la distribución del tamaño de las partículas determinadas en aguas naturales y en un medio disperso, mientras que muestras de otras corrientes señalan poco o ninguna diferencia entre los dos métodos de análisis.

Los análisis granulométricos en aguas naturales no son necesarios en algunas corrientes, si es aparente que la floculación es improbable a través de los rangos de descarga, sin embargo, durante los dos primeros años de determinaciones de transporte de sedimentos en un sitio, es aconsejable acordar, que un quinto (1/5) de los análisis deben hacerse usando agua natural o agua destilada. Después, el número de los análisis de tamaño en agua nativa han de reducirse enormemente, a menos que esté en progreso un cambio significativo en el régimen del río.

La separación de porciones en una muestra debe hacerse cuando el análisis se efectúa tanto en agua natural como en un medio de asentamiento disperso, la "selección de muestras duplicadas" y el análisis de una muestra en agua natural y de la otra muestra en un medio disperso no se recomienda.

Si se requieren dos ó más muestras consecutivas para obtener una cantidad suficiente de sedimentos, ellas deben combinarse y entonces separarse para cada tipo de análisis; el método de la pipeta se recomienda para análisis de tamaño en agua natural empleando profundidades de descenso señalados en la tabla 6.

La concentración del material más fino de 0.062 mm debe de estar en el rango de 2000 a 5000 mg/lts. El tamaño 0.062 mm no debe determinarse por el método de la pipeta en un medio de agua natural si este valor puede obtenerse por el método del tubo VA ó por el método del tamizado. La razón de ésto es que, la turbulencia residual causada por el mezclado preparatorio previo al primer descenso, retrasa más del tiempo de asentamiento teórico para el descenso de 0.062 mm; en otras palabras, la verdadera velocidad de caída terminal, no se logra retrazar por causa de cualquier tendencia en la

defloculación natural.

Excepto en raros casos se recomienda que el tamaño 0.062 mm se determine a objeto de una más segura y definida correlación con respecto al contenido de mineral arcilloso en la muestra * (aunque algunos minerales primarios que existen como partículas más pequeñas que 0.062 mm, y algunos minerales arcillosos existen como partículas mayores de 0.062 mm, la separación en este punto se cree que dé una aproximación para el contenido del mineral arcilloso en la muestra).

Si la información relacionada con la calidad química del agua es esencial para la investigación del sedimento, los métodos normales y correctamente seguidos en los laboratorios de calidad química (RAINWATER, THATCHER 1959) deben usarse para hacer determinaciones totales de sólidos disueltos (SD); Conductancia Específica; PH; Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato ó Alcalinidad.

Estos análisis del agua pueden suplementar el conocimiento obtenido por otros tipos de exámenes del sedimento. La determinación del tamaño de las partículas por tres (3) métodos diferentes pueden ser aconsejables para algunos ríos. En adición a los métodos normales que usan agua nativa y medios dispersos, un tercer método podría utilizar

* NOTA:

El Ingeniero Hidráulico piensa inicialmente en "arcilla" como un término de tamaño de partícula. Sin embargo, en algunos campos científicos, "arcilla" es primeramente un término mineralógico con tamaño de partícula como una consideración secundaria. Como lo señaló Griem (1953) "los minerales no arcillosos generalmente no están presentes en partículas mucho más pequeñas que 0,001 a 0,002 mm y es frecuentemente el tamaño óptimo para la mejor separación de los minerales arcillosos y los componentes minerales no arcillosos de los materiales naturales."

un "promedio de agua pesado anual" con respecto a los constituyentes químicos disueltos, como medio de asentamiento. La preparación del "promedio de agua" podría requerir da tos anteriores de calidad química para el río y podría requerir que las facilidades de labo ratorios químicos, estén disponibles. Los análisis extras podrían requerir la disponibilidad de muestras con suficiente sedimento para los tres modos de separación.

PREPARACION DE LA MUESTRA PARA EL ANALISIS EN AGUAS NATURALES

La preparación de las muestras para condiciones dispersas se discutió en co- nexión con cada método de análisis en las secciones anteriores. La preparación de una muestra de la cuál parte va a analizarse en aguas naturales, necesita consideraciones pos teriores. Toda la composición, separación, lavado al tamiz u otros pasos implicados en la preparación de las posiciones de las muestras en agua natural, deben acompañarse con porciones de aguas naturales. El agua destilada o los agentes de dispersión y los agentes floculantes no deben agregarse; la materia orgánica no debe removerse con el uso de a- gentes oxidantes u otros métodos. La dispersión mecánica de la muestra debe evitarse y so lamente una pequeña cantidad de agitación debe usarse para remover el sedimento de la bo tella de muestra, inmediatamente previo al análisis, la muestra debe agitarse a mano du- rante la mitad del tiempo recomendado para las condiciones de dispersión - 30 seg - con un agitador de mano para el método de la pipeta y 90 seg de inclinación para el método del tubo BW.

Tanto el agitador modificado de Jones y Otto ó el agitador de muestras del tubo BW se recomiendan para muestras que no contienen arena. La seguridad cualitativa y cuantitativa del agitador modificado Jones-Otto, es mayor que la del agitador del tubo

BW para las muestras que tienen arena, algunas muestras requieren varias operaciones a fin de que la cantidad deseada de sedimentos se pueda obtener para preparar una suspensión que tenga entre 2000 y 5000 mg/l para el método de la pipeta y de 1000 a 3000 mg/l para el método BW. La práctica y la experiencia son útiles para estimar el número y las separaciones necesarias que llevarían a las concentraciones requeridas. La alternativa es recolectar muestras extras, para las determinaciones previas de concentración a la separación requerida para el análisis de tamaño.

Las muestras que contienen material en suspensión que se asienta muy lentamente, crean un retardo indeseable de tiempo en el laboratorio.

Usualmente una muestra consiste de 2 a 12 botellas con acerca de 2 a 400 gr cada una de la mezcla de agua y sedimento. Después que la composición se ha logrado, el sedimento en la composición puede asentarse antes de que un análisis pueda hacerse en un medio disperso o antes de que la separación previo al análisis, tanto en un medio natural como en un medio disperso. Por lo tanto, dos periodos de asentamiento son generalmente necesarios previos al análisis: uno antes de la composición y otro después de la separación. Se recomienda que el material en suspensión se le permita asentarse completamente antes de cada uno de estos pasos.

En el caso de que los datos de la muestra se requieran inmediatamente, se recomienda el siguiente método:

- a) Permitirle a la muestra asentarse tanto como sea práctico.
- b) Mediante el uso de un tubo de filtro Berkefer (o un tubo de filtro similar) y un aparato de vacío, se remueve tanto del agua nativa de cada botella como sea posible, sin perturbar el sedi-

mento del fondo del recipiente. El sedimento fino que permanece en suspensión se adhiere a las paredes exteriores del filtro del tubo y el agua pasa a través de las paredes.

- c) Remueva el material de la parte extrema del tubo con agua nativa y limpie cuidadosamente en el interior del recipiente a ser usado para la composición del sedimento, como un procedimiento alternativo para el tratamiento de las muestras que no se asienten, el siguiente método ha sido usado exitosamente.

Permitir a la muestra que se asiente por varios días, y entonces teniendo extremo cuidado de no agitar las muestras, sifonee desde el tope $\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$ del agua y mezcla de sedimento fino. Determine el peso del sedimento en una alícuota y con este peso, calcule la concentración de las partículas de sedimentos fino removido de la muestra. Separe la muestra si es necesario para obtener la cantidad deseada de sedimento, transfiera al cilindro de análisis, llénela de agua nativa filtrada libre de sedimentos y haga el análisis usual, cada descenso debe conseguirse para el sedimento fino previamente decantado y no incluido en el cilindro del análisis.

La corrección debería hacerse en una forma similar a aquella para la corrección de sólidos disueltos, excepto que la corrección se añadiría al peso del descenso en lugar de ser sustraída. Obviamente, la misma corrección tendría que aplicarse a cada descenso para el análisis hecho en el medio de asentamiento disperso usando una separación alterna del mismo sedimento. Este método, tiene un aspecto indeseable por causa de que todos los tamaños del sedimento presentes en la muestra original, no están presentes en la parte de la muestra a ser analizados. Por lo tanto el análisis no señalaría el aspecto químico ó físico de las partículas muy finas en suspensión, sobre las partículas mayores presentes.

PROCEDIMIENTOS PARA EL ANALISIS DE LAS PARTICULAS POR EL METODO DEL TAMIZADO-PIPETA *.

El método de la pipeta para determinar la gradación del tamaño de las partículas, para tamaños más pequeños que 0.062 mm en una de las más ampliamente técnicas aceptadas que utilizan la teoría de Oden y el Sistema Disperso de Sedimentación. El límite del tamiz superior de las partículas de sedimento las cuales se asientan en el agua de acuerdo a la Ley de Stokes y el límite del tamaño mas bajo que puede determinar - se por tamizado, es acerca a 1/16 mm ó sea 0.062 mm, este tamaño es la división entre arena y limo (tabla 2) y es una importante división para muchas fases en el fenómeno del transporte del sedimento. El principio fundamental del método de la pipeta es determinar la concentración de una suspensión a una profundidad predeterminada como una función del tiempo de asentamiento. Las partículas que tienen una velocidad de asentamiento mayor que aquellas del tamaño a las cuales se desea la separación, pueden asentarse por debajo del punto de descenso después de transcurrido cierto tiempo. El tiempo y la profundidad de descenso son predeterminados en base a la Ley de Stokes.

La tabla 6 da los tiempos recomendados y profundidades de descenso para determinar las concentraciones de sedimentos más finos de cada uno de los 6 tipos de incremento de tamaño de 0,002 - 0,062 mm y para el rango de temperaturas del agua. Los valores son dados para las profundidades normales de descenso de 10 cms para el tamaño de 0,062 - 0,008 mm y 5 cm para tamaño 0,004 - 0,002 mm así como 15 cms para el tamaño de 0,062 - 0,0031 mm y 3 cms para el tamaño de 0,002. Las profundidades alter-

* Método convencional usado en Hidrología - MOP (Nota del Traductor).

TABLA N° 6

TIEMPO DE DESCENSO PARA LA PIPETA A TEMPERATURAS DADAS, PROFUNDIDADES DE DESCENSO Y DIAMETRO DE LAS PARTICULAS

Temperatura (°C)	0,062		0,031		0,016		0,008		0,004		0,002					
	15 (seg)	10 (seg)	15 (min)	10 (seg)	10 (min)	10 (seg)	10 (min)	10 (seg)	5 (min)	5 (seg)	5 (hr)	5 (min)	3 (hr)	3 (min)		
20-----	44	29	2	52	1	55	7	40	30	40	61	19	4	5	2	27
21-----	42	28	2	48	1	52	7	29	29	58	59	50	4	0	2	24
22-----	41	27	2	45	1	50	7	18	29	13	58	22	3	54	2	20
23-----	40	27	2	41	1	47	7	8	28	34	57	5	3	48	2	17
24-----	39	26	2	38	1	45	6	58	27	52	55	41	3	43	2	14
25-----	38	25	2	34	1	42	6	48	27	14	54	25	3	38	2	11
26-----	37	25	2	30	1	40	6	39	26	38	53	12	3	33	2	5
27-----	36	24	2	27	1	38	6	31	26	2	52	2	3	28	2	5
28-----	36	24	2	23	1	35	6	22	25	28	50	52	3	24	2	2
29-----	35	23	2	19	1	33	6	13	24	53	49	42	3	19	1	59
30-----	34	23	2	16	1	31	6	6	24	22	48	42	3	15	1	57

(Los valores de esta tabla se basan en la premisa de formas esféricas de las partículas, con el peso específico de 2,65, la constante de aceleración debido a la gravedad 980 y la viscosidad variando entre 0,010087 a 20°C hasta 0,008004 a 30°C).-

nas permiten mayor flexibilidad en la programación, la mayor profundidad para los incrementos de tamaños gruesos aumentan la seguridad y las profundidades bajas para los finos, disminuyen el tiempo requerido para completar los grupos.

EQUIPO

El equipo de la pipeta descrito por Krumbein y Pettijohn (1938) pág. 165 y 167 es satisfactorio cuando solamente son analizadas relativamente pocas muestras.

La mayoría de los laboratorios de sedimentación sin embargo, necesitan un equipo adecuado para el análisis de muchos cientos de muestras cada año. Para facilitar el análisis de demasiadas muestras se sugiere el aparato señalado en la fig. 7, consistiendo de un soporte para colocar ocho cilindros de sedimentación.

Un carro móvil que contiene la pipeta se instala por detrás del soporte para permitir el pipeteado de todos los cilindros de sedimentación. Un mecanismo se fija también al carro para bajar y levantar convenientemente la pipeta.

En los laboratorios donde la temperatura varía considerablemente, es aconsejable usar un baño de agua a temperatura constante para los cilindros de sedimentación. Si una temperatura se escoge siempre tal que esté por encima de la temperatura del aire del laboratorio, entonces solamente se requiere un elemento de calentamiento y control. La operación de temperatura constante, permite el uso de los mismos programas de descenso para todos los análisis. Es entonces posible preimprimir la temperatura, distancia de caída y tiempo de asentamiento en la planilla de la pipeta (fig 8).

El uso satisfactorio del método de la pipeta, requiere una operación precisa y cuidadosa para obtener la máxima seguridad en cada paso del proceso.

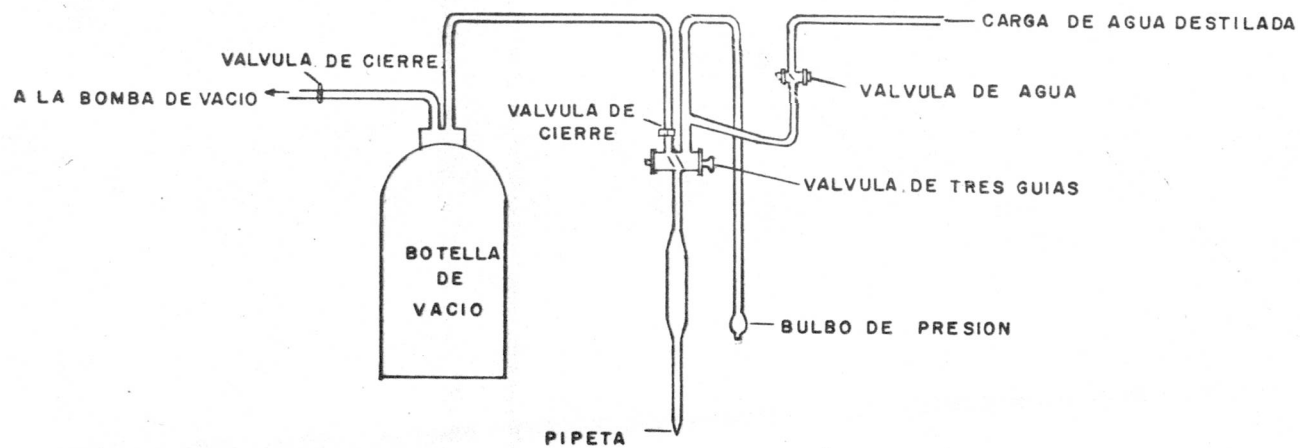
Lo que se señala en la fig 7, es un diagrama del arreglo del aparato indicando el uso de una pipeta de 25 ml equipada con una válvula de tres guías.

Un entubado de goma de suficiente longitud permite al carro de la pipeta, desplazarse a lo largo del soporte, estando conectado al extremo izquierdo mediante una llave a una bomba y botella de vacío. Una pequeña válvula ajustable de tornillo sobre una longitud corta del tubo de goma, justamente por encima de la pipeta, forma una constricción la cual ayuda a mantener una rata de descenso en la extensión de tiempo apropiado.

Fijo a la extensión derecha de la válvula con el tubo de goma, está un tubo de vidrio en forma de Y invertido. Una longitud del tubo de goma con un bulbo de presión en un extremo, se une al extremo final de la Y. Un extremo del tubo de goma se une a una extensión corta de la Y, conectando el aparato con una fuente de agua destilada con una carga de 1 a 1,5 mts, el flujo de agua destilada se controla con una llave.

Después que la muestra se saca con la pipeta, la válvula de tres guías, es rotada 180° , y se le permite a la muestra que drene libremente en un disco de evaporación. El drenaje puede acelerarse mediante el uso de un bulbo de presión para asegurar la completa remoción en la pipeta, la válvula de presión debe ser completamente abierta y la pipeta se lava desde el tope. Cuando el lavado se completa, puede ser necesario expeler una ó dos gotas de agua que permanecen en el extremo de la pipeta, con el bulbo de presión. A este tiempo, cualquier cantidad pequeña de la mezcla que pueda ser tomada en la línea de vacío cerca de la llave de tres guías (resultando de un sobre-llenado accidental de la pipeta) debe removerse, permitiendo que una cantidad pequeña de aire pase a

FIGURA N° 7



APARATO PARA EL ANALISIS DEL TAMAÑO DE
LAS PARTICULAS POR PIPETEADO

FIGURA N° 8

ANALISIS GRANULOMETRICO. METODO TAMIZADO Y PIPETEADO

FILA N° _____

Datos del Analisis			Sólidos Disueltos			Datos Total de la Muestra		
Fecha _____ Por _____			Volumen _____ c.c. Original			Río _____		
Cantd. Usada _____			Dispersado _____			Localización _____		
Agen. Disp. _____ c.c.			Disco N° _____			Fecha _____ Tiempo _____		
Suspensión de la pipeta	Sedimento _____ gr.		Total _____			G.H. _____ Estación _____ Temp. _____		
	Volumen _____ c.c.		Tara _____			Comuestro		
	Concentración _____ PPM		Neto _____					
Arena seca despues del tamizado seco	Total _____ gr.		Peso de la parte no analizada			N° de botellas _____		
	Tara _____ gr.		Cantidad _____ Disco N° _____			Peso de la muestra _____ gr.		
	Neto _____ gr.		Total _____ gr.			Peso del Sed. _____ gr.		
Peso	Frac. de Tamiz _____ gr.		Tara _____ gr.			Solidos disueltos _____ P.P.M		
	Frac. de arena _____ gr.		Neto _____ gr.			Conduc. Espec. _____ pH _____		
	Frac. de pipeta _____ gr.		Solidos disueltos _____ gr.			Otros datos calidad quimica _____		
	Limoy arcilla _____ gr.		Neto _____ gr.					
Total desed. _____ gr.								
Observación _____								
Tamiz								
Tamaño mm.	4,0	2,0	1,0	0,50	0,25	0,125	0,062	Pan
Contenido N°								
Peso gr.	Total							
	Tara							
	Neto							
% Total								
% Pasante								
Pipeta								
Pipeta N°	Volumen			Factor de Volumen				
Tamaño mm.	Conc.	0,062	0,031	0,016	0,008	0,004	0,002	Resid.
Tiempo del reloj								
Temperatura								
Dist. de caída								
Tiempo de asen.								
Contenido N°								
Peso en gr.	Total							
	Tara							
	Neto							
	Correc. S.D							
	Sed. neto							
	Pasante							
% Pasante								

Muestra de una planilla de laboratorio. Para el análisis granulométrico por el método tamizado y pipeteado

través de la línea de la pipeta abierta.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS. REGISTROS Y DECANTACION

El procedimiento para el análisis de la muestra húmeda requiere el peso total de la mezcla de agua y sedimento en la muestra entera. Este peso se registra generalmente en la planilla de notas de concentración de sedimentos (fig 4 ó 5) antes de que las muestras se seleccionen para el análisis granulométrico. El número de botellas y su peso neto completo se registran en el extremo superior derecho de las notas de la planilla de tamizado - pipeteado, (ver figura 8), el nombre del río, la fecha y otros datos perti nentes se registran también en esta planilla. Después que el sedimento se ha asentado hasta el fondo de las botellas, se decanta tanto como sea posible del agua clara natural flotante. En el caso de que el sedimento no se asiente en un tiempo razonable y si la información del tamaño de las partículas se necesitan inmediatamente (véase nota A pág 11); concerniente con procedimientos especiales para el tratamiento de muestras no asentables. Entonces el sedimento en las botellas de muestras individuales es compuesto.

DISPERSION MECANICA

La separación de la muestra puede requerirse debido al exceso de limo y arcilla en la muestra, pero muy raramente debido al exceso de arena. La experiencia se ñala que las inseguridades en la separación son mucho más parecidas a las que ocurren en la separación de las fracciones de arena que en la separación de las fracciones de limo y arcilla. Por lo tanto, se recomienda el siguiente procedimiento si se requiere o no separa ción. Si una muestra contiene cantidades significantes de materia orgánica, la materia or

gánica, puede removerse usando el procedimiento discutido en la siguiente nota:

NOTA B.-

En buena concordancia con los métodos aceptados, la siguiente lista de procedimientos se siguen para la remoción de la mayoría de las formas del material orgánico de los suelos y muestras de sedimentos: Añada 5 ml de una solución al 6% de Peróxido de Hidrógeno, por cada gramo de muestra (seca), la cual está contenida en 40 ml de agua. Agitar ligeramente y cubrir. Los fragmentos grandes de material orgánico pueden removerse a este nivel y puede asumirse que ellas están libres de partículas de sedimentos. Si la oxidación es lenta ó después que haya bajado, la mezcla se calienta a 93° C y se agita ocasionalmente. La adición de más solución de Peróxido de Hidrógeno puede necesitarse para completar la oxidación. Después que la reacción se ha parado completamente, se lava el sedimento 2 ó 3 veces con agua destilada. Debe recordarse que si el análisis va a hacerse en agua natural, entonces el material orgánico no debe removerse. Después que se completan los pasos necesarios en este procedimiento, el sedimento compuesto se coloca en el recipiente de dispersión del suelo, y se diluye hasta 250 - 300 ml con agua destilada.

La muestra es luego mezclada durante 5 minutos con una batidora de leche comercial, la varilla de agitación debe operar a no menos de 3/4 partes y no más 1 1/2" por encima del fondo del vaso de dispersión, y girar hasta 10.000 revoluciones por minuto sin peso.

Un cronómetro automático puede asegurar un tiempo de mezclado consistente para cada muestra; la separación por lavado del tamiz de la arena del limo y arcilla siguen inmediatamente al mezclado.

TAMIZADO

Solamente en casos excepcionalmente raros, es necesario o deseable separar la fracción de arena del sedimento en suspensión previo al análisis por tamizado. Las muestras generalmente contienen una concentración muy alta del material fino y solamente pequeñas cantidades de arena.

Un mínimo de acerca de 0,02 gr de arena, se requieren para un análisis por ta

mizado seguro, se requiere más si la muestra contiene partículas de 1 mm ó mayores, por lo tanto se recomienda el siguiente procedimiento en el cual toda la arena se remueve de la muestra antes que se separe el material fino.

SEPARACION DE LA ARENA DE LOS FINOS

Después que la dispersión mecánica se completa, el sedimento debería lavarse en un tamiz de 250 MESH (0.062 mm), usando agua destilada el tamiz es titulado, rotulado y tapado cuidadosamente para facilitar el procedimiento de lavado. El lavado puede continuarse hasta que no exista sedimento pasante a través de la malla. El material pasante a través del tamiz puede ser temporalmente almacenado en un Beaker de un tamaño adecuado. El material retenido sobre el tamiz, es vertido entonces en un disco de evaporación y resecado a horno por una hora hasta que toda el agua visible se ha evaporado, el tiempo de secado puede acortarse, si prácticamente toda el agua flotante en el disco, es cuidadosamente separado de la arena antes de colocar el disco en el horno.

METODO SECO

La arena secada es entonces removida del horno, se enfría en un desecador y se pesa; el peso se registra en una planilla de análisis de datos de la forma Pipeteado - Tamizado. La arena seca puede entonces ser cernida en un nido de tamices con diámetros certificados entre 2 1/2 ó 3 1/2 pulgadas de diámetro, para obtener la separación de los más finos que 4; 2; 1; 0.50; 0.25; 0.125 y 0.062 mm. Los tamices se agitan entonces en una vibradora que tiene movimientos verticales y laterales. El peso de arena que permanece en cada fracción de tamaño, se registra en la planilla de tamizado.

El sedimento que pasa el tamiz 0.062 mm (material del pan) se añade al material del limo y arcilla que se obtuvo durante la operación de lavado al tamiz.

METODO HUMEDO

Si la muestra contiene considerable arcilla de modo que no puedan ser removidas completamente de las partículas de arena (ver pág 40 relacionada con el "Sonifier"), entonces un método de lavado de tamiz, es más aconsejable que un tamizado en seco. En el método recomendado se usa una técnica que mantiene al tamiz y a la arena completamente sumergidos. El equipo puede constar de 6 ó más discos de 10 cm, un juego de tamices de 3 pulgadas (7,6 cm) y un tubo de vidrio delgado. Todos los tamices se lavan con una solución húmeda tipo alcohólica y entonces se irrigan con agua destilada que puede dejar una membrana de agua a través de todas las aberturas. El primero de los tamices mayores se sumerge en agua destilada hasta una profundidad de cerca de 1/4 de pulgada (1/2 cm por encima de la rejilla). Si la tensión superficial del agua a través de las aberturas es suficiente alta para atrapar burbujas de aire entre la malla, se usa el tubo delgado para levantar un pequeño grupo de las membranas cerca de una orilla de la rejilla. Esto permite al aire escapar si los huecos abiertos se mantienen por encima del agua, mientras el resto de la rejilla permanece sumergida. El sedimento se lava en un tamiz húmedo y se agita vigorosamente en varias direcciones hasta cuando es evidente, que todo el material pasante ha tenido oportunidad de caer en el tamiz. El material retenido en el tamiz se lava en un disco de evaporación para secarlo y pesarlo, y el material pasante del tamiz junto con el agua fresca, se vierte entonces del próximo tamiz

de tamaño mas pequeño para otro disco. Este procedimiento se continúa hasta que se ha usado el tamiz de 0,062 mm, después del cual el material que pasa al tamiz 0,062 mm, se añade al material obtenido en la separación inicial de los finos de las arenas.

Un método mas simple de lavado con el tamizado húmedo se usa a menudo, cuando la arena total es menor a un 20% del total; en éste método, el tamizado se acompaña con un suave chorro de agua, que lava las partículas en el fondo de los tamices sucesivamente más pequeños. Aunque no es un método seguro y consistente como el método de la malla sumergida, es suficientemente seguro cuando la arena es menor que 20% del total.

ANALISIS DE LA FRACCION DE LIMO Y ARCILLA

Separación:

Si una muestra contiene una aproximación de 5 gramos o menos de limo y arcilla, y si se desea un análisis de dispersión sencilla, no es necesaria la separación del material. Por ejemplo, si se estima que 4,5 gramos de material están presentes, la cantidad total de material debe ser analizado en un cilindro de 1000 ml; el material no debe ser separado y analizado en un cilindro de 500 ml.

Se recomienda el siguiente procedimiento si la muestra contiene mas de 5 gr, La fracción de limo y arcilla, que compone el material que pasa el "Tamizado húmedo" de 0,062 mm, más el material del pan obtenido durante el análisis del tamizado de la arena, se separan si se requiere para obtener una concentración de 2000 a 5000 mg/l en un cilindro de sedimento de 1000 ml, tanto el separador modificado de Jones y Otto o el agitador del tubo BW es adecuado para la separación de las muestras húmedas de limo y

arcilla. Si la concentración de los sólidos disueltos es suficientemente alta, lo cual no es lo usual en las recomendaciones previas que han sido seguidas, podría ser necesario enjuagar el sedimento hasta que la concentración final de los sólidos disueltos, sea menor que 200 mg/l.

DISPERSION

Para asegurar la dispersión completa de las partículas, añada a las muestras 1 mililitro de dispersante (ver Kinner y Alexander 1949 en la nota C debajo) por cada 100 ml del volumen de la suspensión. El agente de dispersión se prepara disolviendo 35,7 gr de hexametáfosfato sódico y 7.94 gr de carbonato de sodio en agua destilada y se diluye hasta el volumen de 1 litro. El carbonato de sodio da un P.H de 9 a 9,5 para la mezcla y actúa como un buffer alcalino que previene la hidrólisis del metafosfato a ortofosfato. Una determinación de la corrección de sólidos disueltos, debe hacerse cada vez que se prepare una nueva solución de agente dispersante.

Después que se añade el agente de dispersión, se transfiere la mezcla al vaso de mezclado mecánico y se agita por 5 minutos. La muestra se transfiere luego, se diluye en el cilindro de sedimentación hasta el volumen deseado.

Para obtener el factor de corrección por sólidos disueltos para compensar el agente dispersante añadido, se recomienda el siguiente procedimiento. Añádase 5 ml de la solución del agente dispersante a cada dos cilindros de 500 ml y agregue agua destilada hasta completar 500 ml de volumen. Usando una pipeta normal de 25 ml, haga tres descensos en cada cilindro y coloque cada pipeteado en un disco de evaporación, separa

do y previamente pesado. Usando la misma temperatura normal que para el sedimento seco, evapore el material y obtenga el peso del residuo en cada disco. Debido a que muy ligeras variaciones en el peso pueden encontrarse para los seis residuos, el peso promedio debe obtenerse y usarse como un factor de corrección.

PIPETEADO

Después que la porción separada ó no separada de la fracción de limo y ar
cilla se transfiere al cilindro de sedimentación y antes de que comience el pipeteado ac
tual, la temperatura de la suspensión, la profundidad de descenso (distancia de caída) ,
el tiempo de asentamiento, y los pesos de los recipientes numerados para cada descenso
deben registrarse en las planillas para la pipeta. La suspensión se agita entonces duran-
te 1 minuto con un agitador manual del tipo de Plunger ilustrada (en Krumbein y Petijohn
1938 y pág 167) el cronómetro se acciona cuando se remueve el agitador. El análisis de
be hacerse aproximadamente a una temperatura constante para disminuir las corrientes de
convección. El tiempo y profundidad de pipeteado, (tabla 6) se determinan de la ley de
Stokes, en base a la temperatura de la suspensión y diámetros de asentamiento para los ta
maños de 0.062; 0.016; 0.004 y 0.002 mm. En algunas ocasiones puede ser deseable añ
dir descensos para los tamaños de 0.031 y 0.008 mm. La pipeta se llena en 8-12 segun-
dos y se vacía en un disco de evaporación. Una enjuagada de la pipeta se añ
ade al mate-
rial en cada disco de evaporación y se trata como se indicó en los pasos 11; 12 y 13
(pág 31) el peso resultante se coloca en la planilla para la pipeta.

CALCULO DE LOS RESULTADOS

PESO TOTAL DEL SEDIMENTO EN LA MUESTRA

El cálculo de los resultados por el método de la pipeta tamizado, requiere el peso total del sedimento en la muestra; este peso, puede determinarse por uno de los siguientes métodos:

- 1 Se evapora la muestra hasta secarla antes del análisis, y se determina el peso seco al horno con una aproximación de un miligramo, este método no se recomienda.
- 2 Se determina el peso de las fracciones de limo y arcilla de la concentración media y el volumen de la suspensión de asentamiento en la pipeta. La concentración promedio en la suspensión se determina "haciendo un descenso de la concentración" inmediatamente después del mezclado. Al peso de sedimento en el cilindro de suspensión, se añade al peso de la arena que fue determinado separadamente.
- 3 Se determina el peso seco de sedimento en la suspensión, después que se ha completado todo el pipeteado. A esto se añade el peso de sedimento en cada descenso del pipeteado y el peso seco de la fracción de arena, si fué separado.
- 4 Se separa la muestra en 2 porciones por medio de un dispositivo de separación disponible. Se evapora la mitad por secado para determinar el peso del sedimento y se usa la otra mitad, para el análisis de tamizado y pipeteado. La seguridad de este método depende de la seguridad cualitativa y cuantitativa de la operación de separación, la cual está sujeta a errores de consideración por lo tanto, no se recomienda el método.

Los métodos 2 ó 3 son simples y juntos se recomiendan aunque la rapidez y la facilidad en la determinación por el método 2, es el más aconsejable. Ocasionalmente el peso del material en suspensión puede determinarse por los métodos 2 y 3 y como un chequeo el método 2. Esto se acompaña simplemente haciendo el "descenso de concen -

tración" como se sugiere en el método 2 e incluyendo el peso del material de este descenso en el método de determinación.

CALCULOS

La planilla que se ilustra en la figura 8 facilita el registro de los datos y cálculos de los resultados, por el método de la pipeta y tamizado; la tabulación de las fracciones de arena en la forma usual de por ciento más fino que los tamaños indicados se acompaña con el uso del peso seco total de todo el sedimento en la muestra. El peso seco neto de sedimento en el descenso del pipeteado se multiplica por el factor de volumen, el cual es la razón del volumen total de la suspensión al volumen de la pipeta, dando el peso del sedimento más fino en la suspensión que el tamaño correspondiente al tiempo y a la profundidad de descenso. El anterior valor dividido por el peso seco del sedimento total en la muestra da el por ciento (%) del total del sedimento más fino que el tamaño indicado.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS POR EL METODO DEL PIPETEADO - TUBO VA.

El método del tubo de acumulación visual llena una necesidad fundamental en el proceso de obtener datos relacionados con el transporte de sedimentos, es un efecto económico y un medio seguro de determinar la distribución de tamaños en términos de las propiedades hidráulicas fundamentales de las partículas: velocidad de caída ó diámetro de caída. No solamente el diámetro de "tamizado", falla en indicar las propiedades hidráulicas deseadas de muestras de sedimentos, sino que las distribuciones del tamaño de

las partículas, pueden ser erróneos debido a las irregularidades en el tamaño y formas de las aberturas del tamiz, las limitaciones sobre el tiempo del tamizado requerido para el paso de todas las partículas y la posible adhesividad de la arcilla sobre las partículas ma yores. Por lo tanto el método del pipeteado y del tubo VA, se recomienda para la de - terminación de la distribución del tamaño de las partículas en la mayoría de los sedimen tos en ríos. El método del tubo VA se adopta especialmente para el análisis de tama - ño en muestras compuestas principalmente de arena. Cuando se requiere la medición del material más fino, puede removerse de las muestras bien sea por lavado al tamiz o por el método de sedimentación. El tamizado se emplea para remover partículas demasiadas grandes para la medición por el método del tubo VA. La importancia de las correcciones por tamizado es de poca significancia para partículas demasiado grandes, respecto al ca so del tubo VA.

El método del tubo VA, no se aconseja para ríos que transportan grandes cantidades de material orgánico tales como fibras de raíces, fragmentos de hojas y algas. Cuidado extremo es también necesario, cuando un río transporta grandes cantidades de minerales pesados y livianos tales como taconita y carbón. Para tales corrientes, los re sultados tanto por los métodos VA y tamizado deben reportarse.

El método del tubo VA emplea el sistema estratificado de sedimentación en contraste con el sistema disperso de la pipeta o del tubo BW. En el sistema estratificado, las partículas empiezan a caer desde un punto común y se hacen estratificadas de acuerdo a sus velocidades de asentamiento. En un instante dado, las partículas que vienen a descansar al fondo del tubo, son de un tamaño de "sedimentación" siendo mas finas que

las partículas que se han asentado previamente y más gruesos que aquellas que permanecen en suspensión. Los detalles específicos que cubren el equipo y método de operación, no son discutidos aquí debido a que un conciso y claro manual de operación (U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation, 1958), se suministra con cada juego del aparato. Del mismo modo los detalles de desarrollo y calibración, están contenidos en el informe N° 11 (U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation 1957). Se ha señalado que las partículas de una muestra se asientan en un tubo visual, con velocidades mayores que los de las mismas partículas cayendo individualmente debido al efecto de inter-acción mutua de las partículas. El método del tubo VA se calibra para tomar en cuenta los efectos de esta interacción mutua y los resultados finales se dan en términos de las caídas de las partículas individuales en un fluido de suficiente extensión, para evitar el efecto de las limitaciones de espacio. El análisis de gradación de tamaño por lo tanto, se basa en el diámetro de la caída típica de las partículas, el cual puede ser definido como el diámetro de una esfera que tiene un peso específico de 2,65 y una velocidad de asentamiento terminal uniforme igual que la partícula dada. La relación entre el diámetro y la velocidad de caída de una partícula depende solamente de la relación entre la velocidad de caída y el diámetro de la esfera de peso específico 2,65. El diámetro de caída de una partícula, entonces es independiente del tipo de material o peso específico, la concentración en la cual se encuentra o analiza, o del método de análisis usado.

El concepto del diámetro es justamente la base para la velocidad de caída, y tiene la ventaja única de suministrar un rótulo de tamaño lineal mediante el cual, la par

partícula puede ser más realmente visualizada. Por ejemplo, cuando un análisis con el tubo VA señala que 65% del material de una muestra es más fino que 0,125 en mm, ello significa que si la muestra entera, fuese dejada caer en un fluido de extensión infinita a cualquier tiempo, 65% de las partículas en peso, podrían tener velocidades de caída menores que una esfera de diámetro de 0,125 mm con un peso específico de 2,65 a la cual se les permitiera caer bajo las mismas condiciones.

Las calibraciones de los registros se han basado en el análisis de cientos de muestras que tienen velocidades de caída conocidas y lo cual hace permisible que las velocidades de caída se incrementen cuando una muestra que contenga cientos de partículas se asiente en lugar de partículas individuales. Esta asignación es del orden del 10 por ciento para partículas gruesas y 30 por ciento para partículas finas.

La calibración para arenas naturales es según el tamaño recomendado del tubo, así como relacionado a la cantidad o concentración de la muestra y al tamaño de la partícula. Si el método del tubo VA es empleado propiamente, la gradación resultante será completamente segura. (*)

EQUIPO

El equipo para el método de análisis con el tubo VA consiste primeramente de un tubo de separación especial y el mecanismo de registro en adición al equipo usual de laboratorio para investigaciones de sedimentación.

(*) Para partículas de forma especial o para muestras con peso específico muy diferente de 2,65, la seguridad del análisis puede requerir una calibración especial relacionado con la velocidad de asentamiento, diámetro de caída y tamaño lineal.

Como se señala en la figura 9 el dispositivo consiste de:

- 1 Un conducto de vidrio de 25 cm de longitud
- 2 Un tubo de goma que conecta el conducto con el tubo principal de sedimentación mediante una llave de mecanismo especial que sirve como una válvula de "acción rápida".
- 3 Tubos de vidrio de sedimentación que tienen colectores de diferentes tamaños.
- 4 Un mecanismo de taponeado que golpea contra el tubo y ayuda a mantener la acumulación del sedimento uniformemente distribuido.
- 5 Un registrador especial que consiste de un cilindro que lleva una gráfica, que rota a una velocidad constante y un carro que puede moverse verticalmente a mano y sobre el cual, se monta un lápiz registrador y un instrumento óptico que traza la acumulación.
- 6 La carta registradora la cual es una planilla impresa que incorpora el diámetro de caída (fig 10) y la calibración. Diagramas y detalles posteriores, son dados en el reporte N° 11, (U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation) y un manual de operación que se suministra con el aparato.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS

El método del tubo VA es aconsejable para muestras cuyas partículas son principalmente arenas como se mencionó previamente; si están presentes partículas mayores que 1.2 mm en la muestra, ellas pueden removerse por tamizado. Si la arcilla y el limo están contenidos en la muestra, se remueve previamente al análisis por lavado de tamiz, en un tamiz fino asentando la muestra a través de un tubo de sedimentación o por otros medios, tales como tratamiento ultrasónico mencionado en la pág 39. Cuando se requiere una remoción más completa de las arcillas y limos de la arena, el más simple y rápido sería el análisis con el tubo VA aunque algún limo grueso en el tubo VA no afecta la seguridad

dad del análisis.

SEPARACION DE LA ARENA DE LOS FINOS

Se recomienda el siguiente método para la separación de la arena de la fracción de limo-arcilla.

Se separa la arena de la fracción de limo-arcilla usando un tamiz con aberturas de 0,053 mm*. Si el material contiene una gran cantidad de arena, el uso de los tamices de 0,062 y 0,125 mm para una separación inicial, puede ayudar a prevenir la rápida obstrucción de las aberturas del tamiz de 0,053 mm. El material pasante del tamiz grueso, es luego lavado al tamiz a través del tamiz de 0,053 mm.

La cantidad de arena que pasa el tamiz de 0,053 mm puede ser muy pequeña y el tubo VA daría una determinación segura del porcentaje más fino que 0,062 mm. Un método alternativo de separación de las arenas del resto de la muestra es el de sedimentación. Este se acompaña introduciendo la muestra por el tope del tubo de sedimentación y permitiéndole al material que se asiente por un intervalo de tiempo que permita, para la temperatura dada del agua y la distancia de caída, que todas las partículas con diámetros de sedimentación mayores que 0,062 mm. se asienten hasta el fondo de la columna. La parte de la muestra que se asentó puede sacarse a este tiempo, y analizarse en el tubo VA y la parte que permanece en suspensión puede ser analizada por el método de la pipeta. La separación por sedimentación simple como una rutina práctica puede ser realizada con dificultad debido:

* Nótese que este diámetro es inferior al tamiz 200 (nota del traductor)

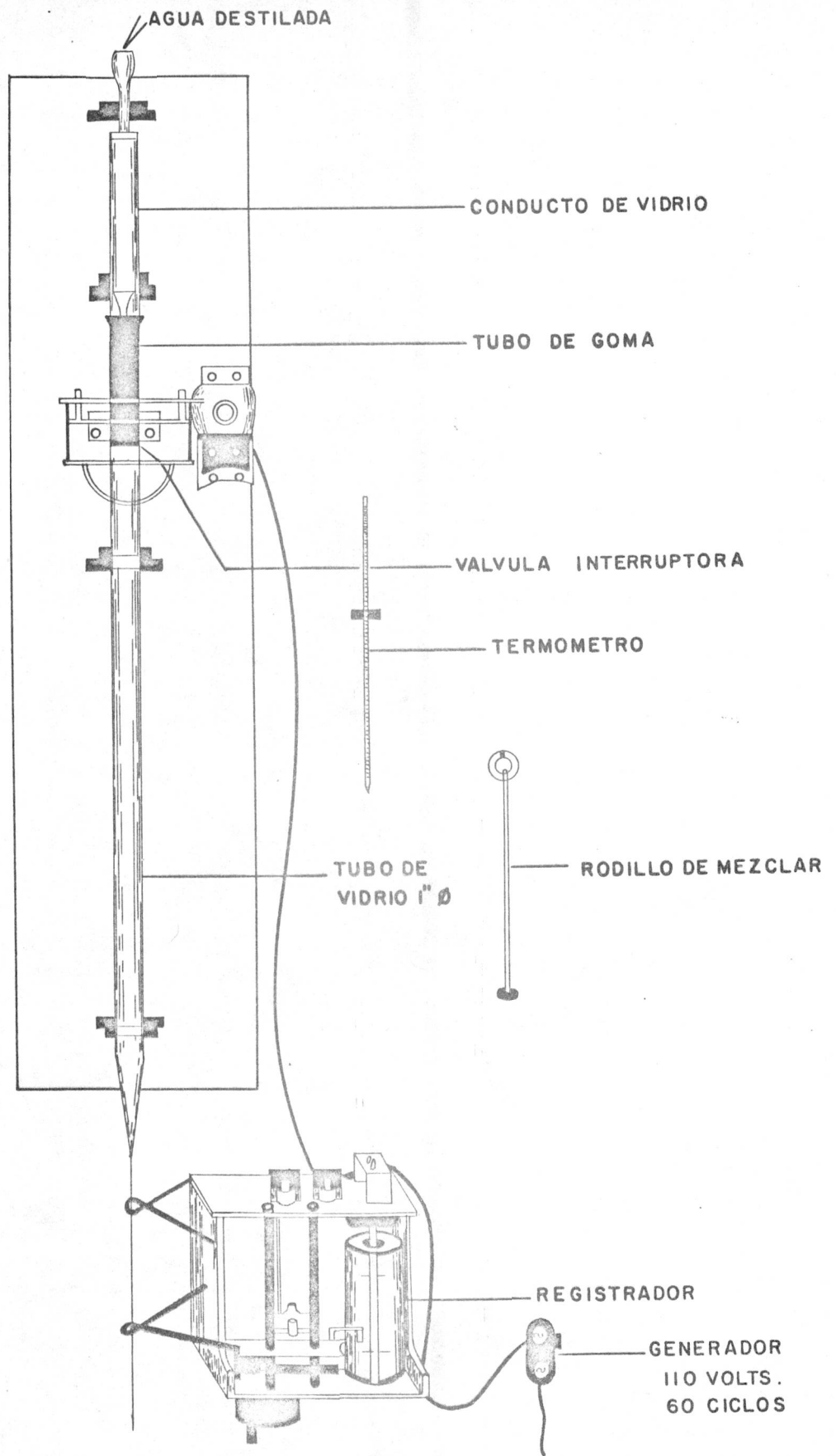


FIGURA N°9

Tubo VA y aparato registrador para el análisis de los materiales del tamaño de la arena, en función del diámetro de caída.-

- 1 Es extremadamente difícil de obtener una aguda separación de la arena del limo y la arcilla durante un período sencillo de sedimentación.
- 2 La muestra puede contener una gran cantidad de limo y arcilla la cual puede moverse rápidamente hacia abajo, como una corriente de turbidez. La primera dificultad puede resolverse por separaciones múltiples de sedimentación; la segunda por sedimentación múltiple ó preferiblemente por separación preliminar con el tamiz de 0,053 mm para remover la mayoría del material fino en la muestra, previo a la separación final por sedimentación.

Antes de que el método de tamizado u otros de sedimentación puedan usarse para separar la arena del limo y la arcilla, es necesario obtener el peso total de la mezcla de agua y sedimentación y registrarla en las notas de concentración del sedimento (fig 4), que el agua flotante sea decantada, y que se acompañe la composición necesaria. Obviamente, si la fracción de limo y arcilla va a analizarse tanto en agua natural como en un medio disperso, luego la composición, el lavado al tamiz y el cuarteo puede acompañarse con el uso de agua natural solamente. Previo al análisis de las muestras seleccionadas para determinación del tamaño de las partículas, toda la información pertinente de la muestra registrada en las notas de concentración del sedimento debe transferirse a las planillas usadas en el análisis con el tubo VA (ver fig 10; 11 y 12).

SEPARACION Y DISPERSION

Una discusión general de los métodos para la separación de las muestras se presenta en una sección posterior de este capítulo ; sin embargo, aquí se necesita alguna explicación adicional, relacionada con las razones del porque la separación y/o la dispersión química, debe efectuarse después que se separa la arena de la fracción del limo y arcilla. El propósito de la separación de la muestra, es el de obtener una concentración

de 2.000 a 5.000 mg/lts de limo y arcilla para el análisis de la pipeta (de 1 a 5 gr de limo-arcilla, dependiendo de si se usa un cilindro de 500 ó 1000 ml) y 0,05 a 15,0 gr de arena para el análisis del tubo VA (dependiendo del diámetro de la sección de acumulación del tubo), (ver tabla 6). La fracción de limo y arcilla puede separarse, pero la arena no necesita ser separada para muestras que contengan una aproximación de 25- 30 grs de limo y arcilla y 5 grs de arena. Los errores cualitativos y cuantitativos son más propensos de ocurrir en la separación de la arena, que en la separación del limo y la arcilla; afortunadamente, las muestras de sedimento en suspensión raramente contienen suficiente arena para requerir separación, debido a que una vez que el sedimento se seca, es difícil dispensarlo y requiere un tratamiento especial, especialmente si se trata de un sedimento que contiene cantidades considerables de minerales arcillosos.

La separación de la arena del limo-arcilla, previo al cuarteo de la muestra, requiere un esfuerzo pequeño extra, al computar los resultados del análisis. Los registros necesarios se mantienen en la parte anversa del tubo VA, (figura 12), en las notas de la fracción de las muestras.

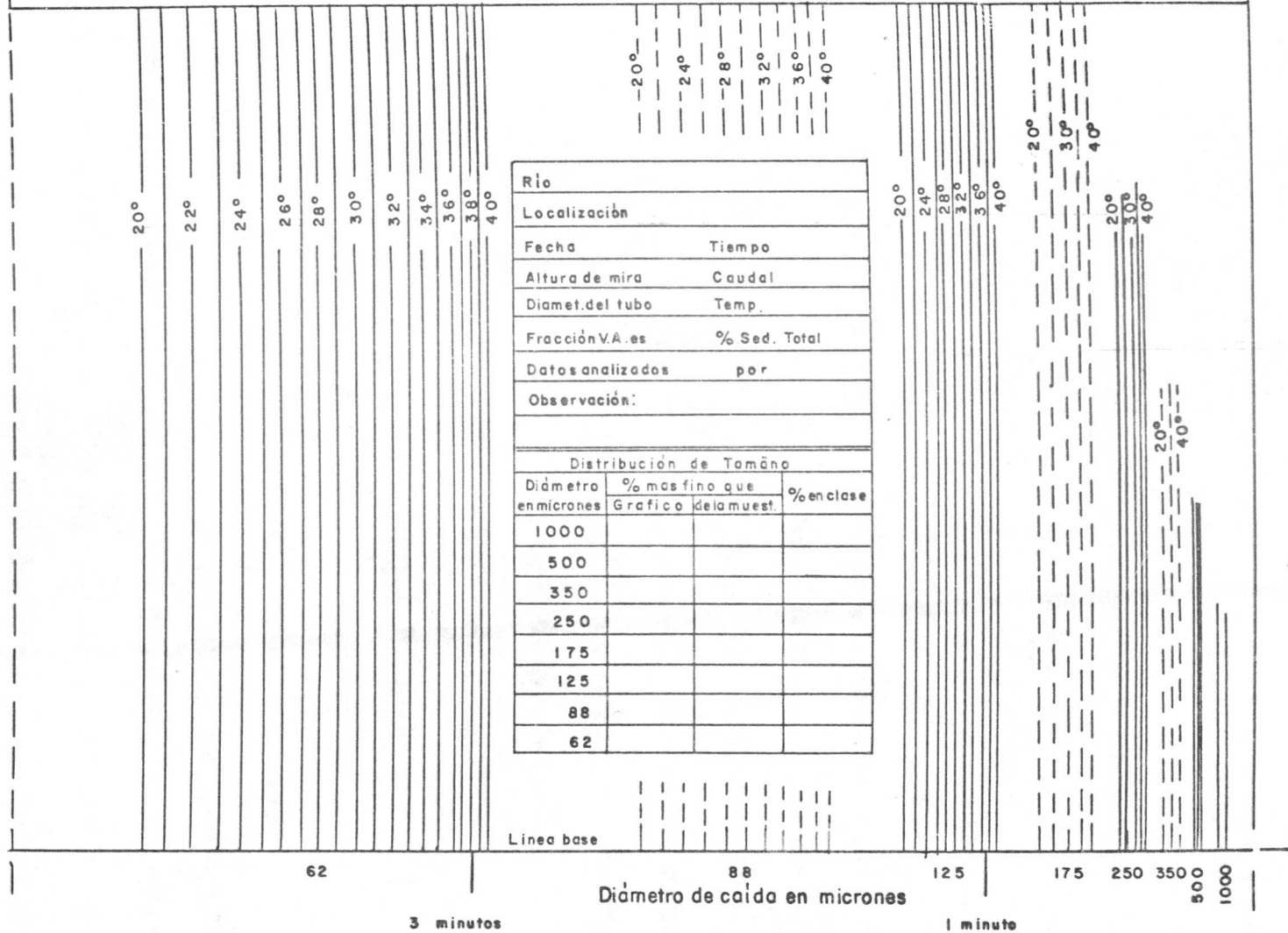
El agente químico dispersante, no se debe agregar al limo y a la arcilla hasta que el material esté listo para el análisis de pipeta. Por ejemplo, el agente dispersante en suspensión obviamente, se mezclaría antes de la separación por el tubo de sedimentación con el agua destilada en el tubo de sedimentación y una cantidad desconocida del dispersante se podría remover cuando la arena se remueva del fondo del tubo. El propósito del agente dispersante, no es tanto para separar las partículas, sino para crear una suspensión que tenga estabilidad. Debido a que las operaciones de separación y cuarteo

FIGURA N° 10

ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS POR EL METODO DEL TUBO DE ACUMULACION VISUAL

Tubo 120 Cms.

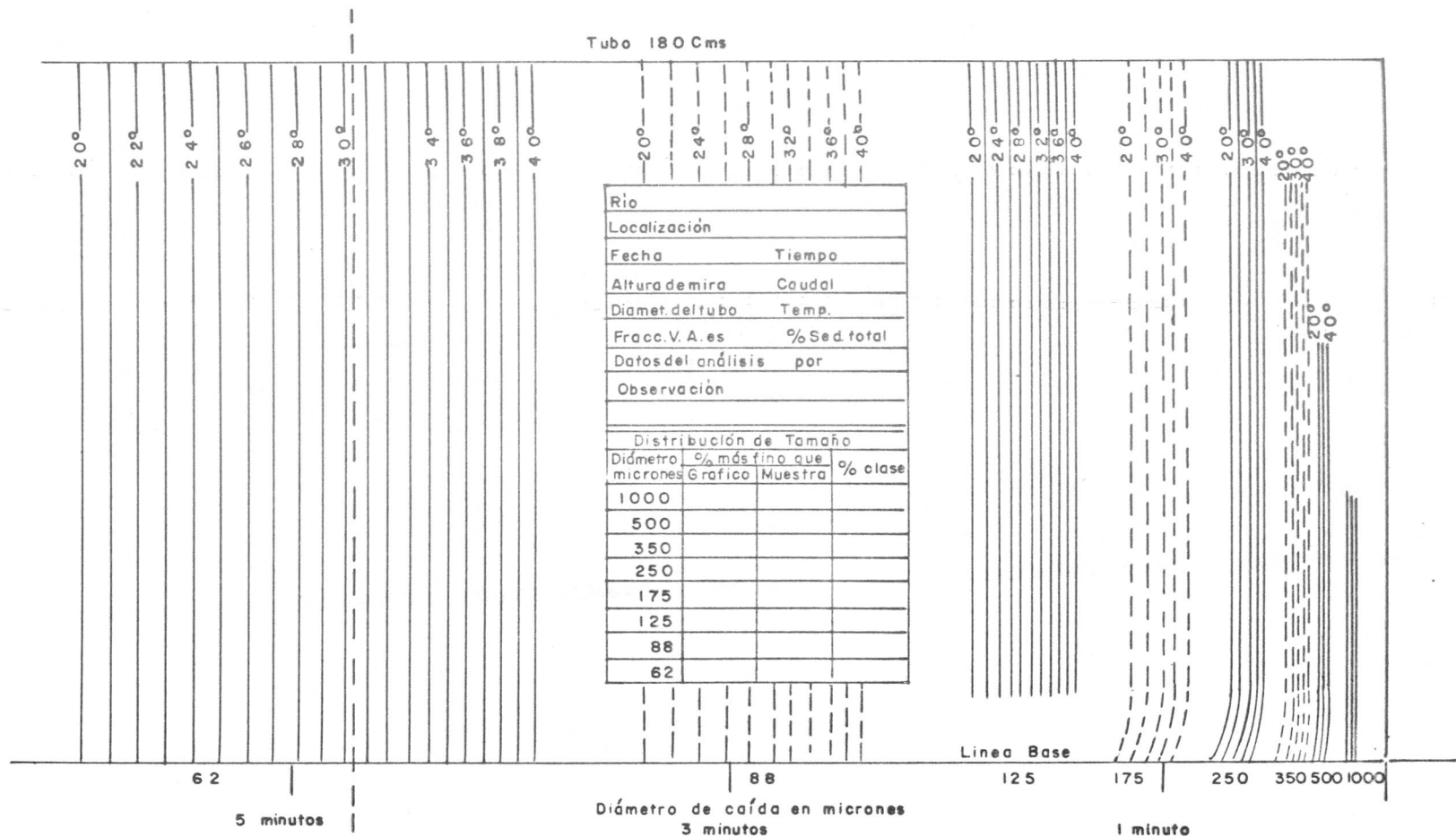
Corte ó pliegue



PLANILLAS DE LABORATORIO PARA LAS MUESTRAS. ANALISIS DE LAS PARTICULAS. METODO DEL TUBO V.A. PARA USAR CON TUBO DE 120Cms
 EL LADO POSTERIOR SE DISEÑA PARA EL ANALISIS DEL TAMIZADO Y PIPETEADO DE LA MISMA MUESTRA
 VER FIGURA 12

FIGURA Nº 11

ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS POR EL METODO DEL TUBO DE ACUMULACION VISUAL



PLANILLAS DE LABORATORIO PARA LAS MUESTRAS. ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS. METODO DEL TUBO V.A. PARA EL USO CON TUBO DE 180 Cms. (TAMAÑO REDUCIDO EN 35 %).- EL LADO POSTERIOR SE DISEÑA PARA EL ANALISIS DEL TAMIZADO Y PIPETEADO DE LA MISMA MUESTRA (VER

FIGURA 12.-)

FIGURA N° 12

Análisis Tamizado							
Tamaño mm							Pan
Total							
Tara							
Neto							
% Total							
% más fino							
% en clase							
Contenido N°							

Río _____	Fecha _____	Lab. N° _____
Localización _____	Tiempo _____	Alt. demira _____
Estación de muestreo _____	Comien. _____	
Metodo de muestreo _____	Final _____	
Observación _____	Medio _____	
	Temp. _____	Veloc. med. _____
	Ancho río _____	Prof. _____
	Descarga _____	

Fracciones de muestra							
	Muestra Total	Fracción de tamiz	Fracción Tubo V.A	Fracción Pipeta	Residuos de fracciones separadas		
					Total	Pipeta	Otros
Cantidad							
Contenido N°							
Total							
Tara							
Neto							
Concentra.							

Determinación de Concentraciones					
	Total	Tubo V.A	Pipeta	Sólidos	Disueltos
P. muest. gr.					
Cont. N°					
Total					
Tara					
Neto					
Concen.					

Observación de análisis

Análisis de la Pipeta					
Pipeteado	N°	Volumen		Factor de volumen	
Tamaño mm					
Tiem. derelaj.					
Temperat.					
Dist. caída					
Tiem. asen.					
Cont. N°					
Total					
Tara					
Neto					
Corr. S.D					
Sed. neto					
Más fino					
% más fino					
% en clase					

Planilla de Laboratorio para registrar las etapas en los cálculos granulométricos cuando el tubo V.A. es usado en combinación con el tamiz y la pipeta o algún otro método de análisis.-

En el anverso los gráficos para el tubo V.A. de 120 y 180 cms (fig. 10 y 11).

SELECCION DEL TUBO

Los mejores resultados de los análisis con el tubo VA se obtienen si la altura total de acumulación en el fondo del tubo es entre 4 y 12 cm. Si la muestra es predominantemente gruesa o tiene un rango de tamaño muy limitado, la máxima acumulación debe ser menor que 10 cm. La escogencia de un tubo adecuado no es difícil, debido a que los límites sobrantes no usuales de los tubos respectivos y aún si no se selecciona un tamaño satisfactorio la primera vez, las muestras pueden ser reorganizadas en un tubo de otro tamaño.

(La tabla 5 pág 38) está arreglada de acuerdo a la cantidad y máximo tamaño de las partículas y ha probado ser útil, en la selección del tamaño correcto del tubo.

Los tamaños máximos de las partículas en esta tabla, son aquellos que no son excedidos por un porcentaje significativo de la muestra. Este porcentaje significativo puede ser mayor, si la muestra es pequeña en relación a la capacidad del tubo o si el análisis de la porción gruesa, no es altamente importante.

La selección del tubo se hace más fácil en algunos laboratorios con el uso " de un tubo inicial de ruptura" que es similar al tubo VA, excepto para la distancia, que es a cerca de 50 cm. El uso de este tubo hace posible obtener:

- 1 El tamaño de uno ó dos de las mayores partículas por cronometrado de sus caídas.
- 2 La cantidad de arena acumulada o el tamaño de la muestra.
- 3 Una muestra de arena más limpia por remoción de las partículas de limo y arcilla. Las desventajas de usar el "tubo de ruptura inicial" aunque no es serio implica el problema de la manipu

se acompañan mas bien rápidamente y no implican procedimientos de sedimentación, la dispersión mecánica solamente es un adecuado tratamiento preparatorio.

ANALISIS CON EL TUBO VA

El método del tubo VA y pipeta difieren del método del tamizado y pipeta solamente en la forma como se analiza la arena. La separación de la arena de la fracción del limo y la arcilla, el análisis de la fracción de limo y arcilla y los cálculos de los resultados se discutieron previamente en el procedimiento para el método de tamizado y pipeteado. Estas y otras recomendaciones generales señaladas aquí, se aplican igualmente al análisis con pipeta hecho en conjunto con el tamiz o el análisis con el tubo VA.

Las partículas de arena deben estar, en tal condición, que los granos puedan caer como granos individuales en el tubo de acumulación y por lo tanto deben estar completamente húmedos y libres de partículas fijas de arcilla o burbujas antes del análisis. Ellas no deben estar contenidas en más de 40 ml de agua a una temperatura de 2 ó 3° C del agua en el tubo VA. La materia orgánica, si está presente en suficiente volumen, debe removerse antes de que la muestra sea analizada para no interferir con/ó disminuir, la seguridad del análisis. Una pequeña cantidad de raíces capilares, por ejemplo, aunque volumétricamente pequeña, puede tener un efecto considerable en los resultados del análisis. Por lo tanto, a menos que la muestra esté libre razonablemente de materia orgánica, se recomienda un tratamiento para su remoción. Los métodos para la remoción de la materia orgánica se discuten en la pág 99.



lación adicional y la oportunidad de pérdida de sedimentos, y el hecho de los finos dispersados en otro volumen de agua.

PROCEDIMIENTO

El siguiente procedimiento para realizar el análisis con el uso del tubo VA se puede leer en el reporte N° 11 (U.S Inter-Agency Committee on Water Resources, Sub Committee on Sedimentation, 1957, pág 118-120). Se debería notar que el análisis debe hacerse en menos de 10 minutos para muestras con partículas mayores de 0.062 mm. El procedimiento cronológico recomendado para el análisis por el tubo VA es como sigue:

- 1 La planilla se selecciona según la longitud del tubo; después que se anotan e identifican las muestras, el operador y el tipo de análisis, se coloca la planilla sobre el cilindro. La línea base de la carta debe ser paralela al fondo del cilindro de tal manera que la traza de la pluma sea paralela a la línea base, excepto cuando el sedimento se esta acumulando. (si la carta se usa para 2 ó más muestras una línea de base diferente algo por encima de la original, puede usarse dibujando a ésta con el lápiz registrador. Los tubos de 180 cm y de 120 cm requieren diferentes cartas debido a las distancias desiguales a través de las cuales la muestra debe asentarse).
- 2 La plumilla de registro se orienta sobre las líneas de tiempo cero y de acumulación cero de la gráfica. La pluma debe comenzar hacia la derecha de la línea de cero tiempo y se traza a la línea por el motor-guía de rotación del cilindro.
- 3 El registrador se ajusta para traer el hilo horizontal hasta el nivel de la pieza visual con el tope de tapón del tubo a donde comienza la acumulación del sedimento.
- 4 Cuando los aparatos, incluyendo la propia sección de sedimentación, es ensamblado, el tubo se llena con agua destilada justamente hasta la parte superior de la válvula. La temperatura del agua en el tubo se determina y se registra y la válvula se cierra. Normalmente el agua no necesita cambiarse después de cada análisis.
- 5 Se abre un mecanismo de interrupción eléctrica: Esta operación tam-

- bién cierra el circuito eléctrico con un suiche de la válvula, de tal manera que la rotación del cilindro comenzará, cuando se abra la válvula.
- 6 La muestra de arena se lava dentro del conducto sobre la válvula cerrada, el conducto se llena hasta la marca de referencia entonces, la muestra se agita bruscamente durante 10 segundos con un rodillo especial de agitación.
 - 7 La válvula se abre rápida y completamente, debido a que la abertura de la válvula automáticamente acciona al cilindro, el tiempo de registro y asentamiento de las partículas en el tubo comienza simultáneamente.
 - 8 El operador observa a través de la pieza visual y tan pronto como las primeras partículas alcanzan el fondo del tubo, se comienza a mover el carro verticalmente a una rata que conserva el nivel horizontal del hilo con la parte superior de la acumulación de sedimentos. Este procedimiento continúa hasta que la pluma ha pasado el tamaño de 0.062 mm sobre la planilla; entonces la rotación del cilindro se para automáticamente. Si el material está aun cayendo, la operación de cierre se continúa, al menos intermitentemente hasta que se determina la máxima altura de acumulación.
 - 9 Mientras se para la pluma a la altura de máxima acumulación, el acoplamiento del cilindro se libera y el cilindro se rota manualmente hasta extenderlo en una línea horizontal de máxima acumulación desde atrás, a través de la planilla al tiempo de cero acumulación.
 - 10 Después que la válvula se cierra (y se remueve el tapon del tubo), la muestra es arrojada del tubo en un Becker por gravedad ó esprimiendo el tubo de goma entre la válvula y el tubo VA" La válvula (puede entonces ser) abierta suavemente para drenar más completamente el exceso de agua del extremo inferior del tubo (si el tubo contiene material fino menor (de 0.062 mm) entonces debe drenarse del tubo y analizarse con el material que pasa del tamiz de 0.053 mm) - el tapón se reemplaza.
 - 11 La gráfica se remueve del registrador.

INTERPRETACION DE LA PLANILLA

Del análisis con el tubo VA resulta un trazado de pluma continua sobre una planilla que incorpora la calibración del diámetro de cada del método de tubo VA, con el tiempo como abscisa y altura de acumulación como la ordenada. Las cartas calibradas señalan una serie de diámetros de cada en los cuales los resultados analíticos, pueden de terminarse en porcentajes (en peso) de la muestra más finos que el diámetro de cada dado. Los porcentajes más finos que un tamaño dado se pueden leer de la gráfica mediante el uso de una escala que puede dividir la acumulación total en 100 partes iguales, colocan do el extremo 100 de la escala en la línea de cero acumulación, y el extremo cero de la escala sobre la línea de acumulación total. La escala se mueve horizontalmente, hasta la intersección de la curva con la línea de tamaño-temperatura deseada y el porcentaje más fino del tamaño indicado, se lee directamente sobre la escala. Si algo del material más fi no que el analizado en el tubo VA se removió previamente al análisis con el tubo VA por ejemplo, 30% de la muestra original, entonces el 30 de la escala se mantiene sobre la lí nea de total acumulación y las lecturas directas se hacen, como arriba. Similarmente, si el material grueso ha sido removido, entonces el porcentaje removido se sustrae de 100 y la diferencia se mantiene en la línea de cero acumulación. Los resultados de estas lecturas en porcentaje más fino del tamaño dado, se tabulan en las planillas para éste fin.

El equipo y procedimientos para hacer el análisis con pipeta de una fracción sea cualquiera, se ha discutido en una sección previa de este capítulo. El lado anverso de la planilla empleada para el análisis del tubo VA, puede emplearse para registrar los pasos del análisis con la pipeta, en una forma similar a las descritas en las secciones

precedentes.

Toda la información para el análisis completo de la muestra aun si el tamizado es el necesario, esta contenido en la hoja sencilla.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS POR EL METODO DEL TUBO BW Y EL METODO DEL TUBO VA.

El método del tubo BW y tubo VA para determinar la distribución del tamaño de las partículas, no es usado tan comunmente como el método del tamizado y pipeta o el método del tubo VA o pipeta, pero puede usarse con ventajas para ciertos tipos de muestras. El método del tubo BW, puede usarse convenientemente, si sólo unos pocos análisis se hacen cada año. Es el método más seguro si la concentración del limo y arcilla en la muestra es muy baja. La concentración mínima deseable de limo y arcilla es de 1000 mg/l para el método del tubo BW, mientras que 2000 mg/l es la mínima concentración deseable para el método de la pipeta.

Debe señalarse que el uso del rango recomendado para cualquier concentración analítica, no asegura las determinaciones de todos los tamaños de partículas presentes. Por ejemplo, si la concentración de 1200 mg/l de limo y arcilla se usa para el análisis del tubo BW, pero si el 90% del material es limo grueso, entonces el limo fino y concentración de arcilla es de solamente 120 mg/l o menos. Por lo tanto, es obvio que la seguridad del análisis granulométrico por cualquier método, no solo depende de la concentración original de la suspensión, sino de la distribución del tamaño de las partículas en la muestra.

LA TEORIA DE ODEN

El método del tubo BW hace aplicación directa de la teoría de Oden, la cual es a su vez, deducida de la Ley de Stokes. La siguiente definición del reporte N° 7 (U.S Inter-Agency Committee on Water Resources, Sub-Committee on Sedimentation 1943 pág 12), da una sinopsis:

Este dispositivo es un tubo de vidrio equipado con una escala volumétrica y una válvula de acción rápida en el extremo inferior.

Primero, la muestra se dispersa uniformemente en el tubo, luego el tubo se coloca en una posición recta hacia arriba y las muestras de volumen conocido se sacan del fondo a intervalos de tiempo conocidos. Cuando se ha determinado el peso del sedimento en cada fracción, la distribución del tamaño de las partículas puede computarse con la ayuda de la denominada curva de Oden.

La teoría de Oden fué presentada primeramente en 1915 como un medio analítico para la determinación de gradación de tamaños en muestras de sedimentación dispersas. La teoría asume cuatro condiciones:

- 1 Que el tamaño de las partículas varia según tamaños infinitesimales.
- 2 Que la temperatura y viscosidad del sistema de sedimentación permanecen constantes.
- 3 Que se obtiene una dispersión completa de las partículas.
- 4 Que las partículas no interfieren entre si, durante el descenso.

Después que comienza el asentamiento de las partículas, la acumulación en

el fondo del tubo a cualquier tiempo t , puede consistir no solamente de partículas con ve locidades de caída suficientemente grandes para caer en la longitud total de la columna, sino que también pueden consistir de pequeñas partículas las cuales tienen una distancia de caída muy corta. Una curva de acumulación puede representarse tal cual se indica en la fig 13, con tiempos en las abscisas y porcentaje en peso de material permaneciendo en suspensión como la ordenada. (curva de Oden).

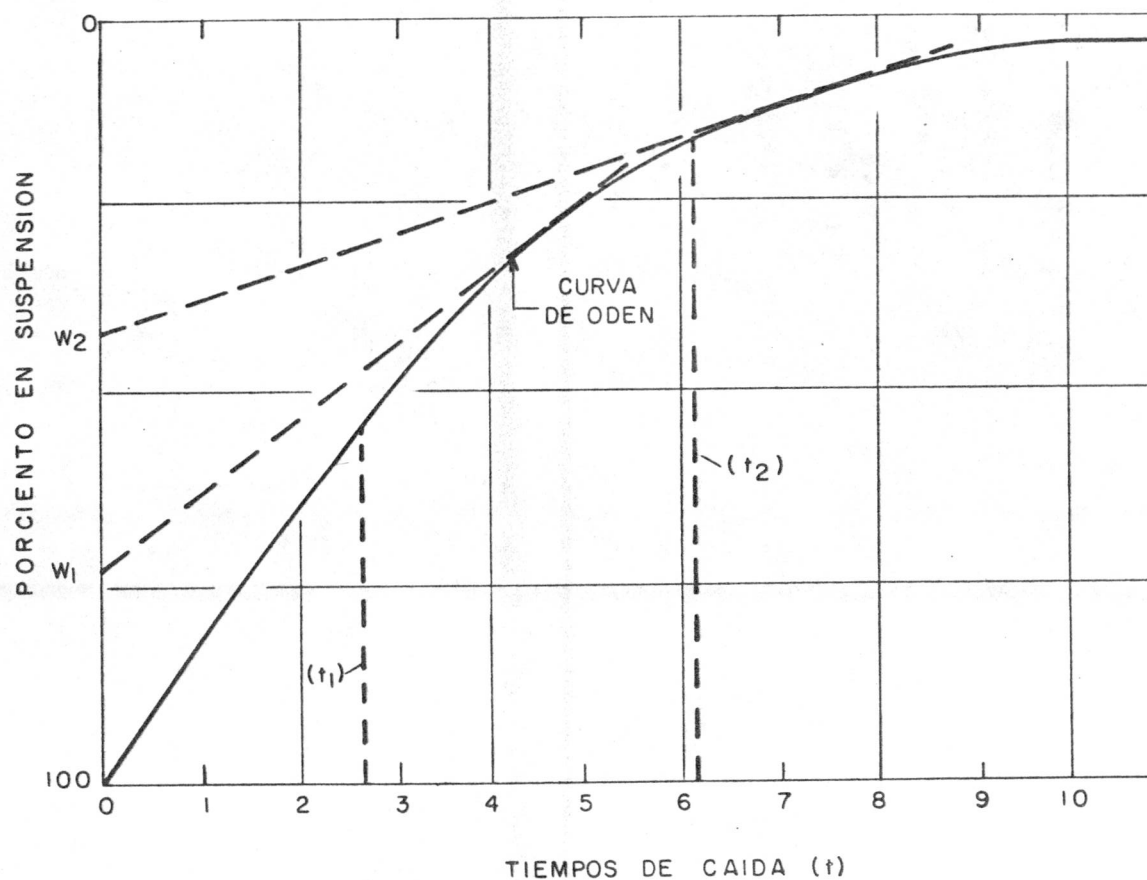
Si se trazan las tangentes a la curva en dos puntos cualesquiera correspondientes a los tiempos t_1 y t_2 y a las tangentes se les permite interceptar al eje de las ordenadas en W_1 y W_2 , entonces los porcentajes W_2 y W_1 representarían las cantidades de material con rangos de tamaños con límites determinados por los tiempos de asentamiento t_1 y t_2 .

EQUIPO

El equipo especial que se encuentra ordinariamente en los laboratorios de se dimentación podría consistir del tubo BW o tubos con provisiones adecuadas para montarlos. La figura 14 señala tal arreglo (después de la fig 10-12 Inter-Agency Report N° 7). Las siguientes son especificaciones para la manufactura del tubo.

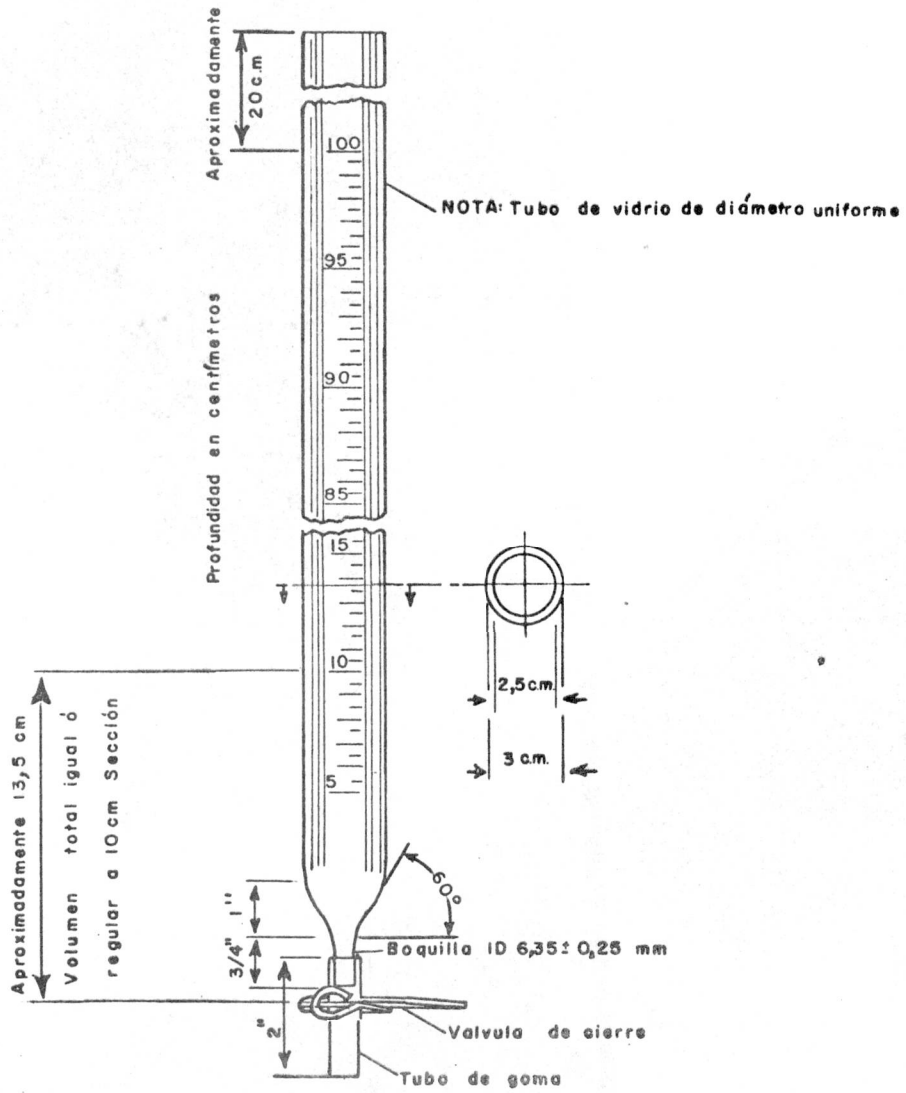
Tiene una longitud de 122 cm; un diámetro interior de 25 a 26 mm, el más bajo extremo del tubo debe ser descendido de $6,35 \pm 0,25$ mm de diámetro interior; espesor de las paredes de la boquilla de 1.25 a 1.75 mm; ángulo de la porción tapada $60 \pm 10^\circ$ con el plano horizontal; la boquilla puede sellarse en lugar de sacarse del tubo, si el sello es liso en la parte interior, la longitud de la boquilla recta, debe ser de 2 cms.

FIGURA Nº 13



La curva de Oden señalando la cantidad relativa de sedimento que permanece en suspensión con el tiempo. El intercepto de una tangente a la curva con la ordenada, representa el porcentaje de sedimento en suspensión, a un tiempo de caída específico.-

FIGURA Nº 14



EL TUBO DE DESCENSO DE FONDO

Calibración: El tubo debe ser marcado a cada $1/2$ cms en 5 cms del fondo, a 100 cms en el tope. La línea de 10 cms debe estar localizada a 13,5 cms de fondo de la boquilla. Su localización exacta debe determinarse como sigue: En el blanco completo se miden 90 cms de la porción recta y se averigua el volumen contenido entre estos puntos, se mide un noveno de este volumen en el tubo. El fondo del menisco del agua debe estar localizado a 10 cms de la línea. El volumen de cualquier otra porción de 10 cms del tubo, será igual al volumen debajo de la línea de 10 cms + 2 ml.

La línea de 100 cms estará aproximadamente 20 cms debajo del tope del tubo y las líneas de 10 cms y 5 cms deben ser cuartos de círculos, las líneas de 1.0 y 0.5 cms, deben ser respectivamente más cortas.

Las figuras deben marcarse solamente a intervalos de 5 cms. El tope del tubo debe ser reforzado con una pestaña terminar y una boquilla en el extremo que sea pulida al fuego.

Para cerrar el extremo inferior del tubo, y proveer un medio de hacer los descensos, una pieza corta de tubo de goma se inclina sobre un pequeño extremo del tubo y se cierra con una válvula de obstrucción.

Si el tubo BW no se usa para tamaños de arena (mayores de 0.062 mm) y si la cantidad de sedimento de la muestra es a menudo insuficiente para hacer una suspensión de 1000 mg/l, entonces el análisis puede ser hecho, usando una altura de caída de 80 cms en lugar de uno de 100 cms. El procedimiento normal sería entonces, llevar a cabo 8 desdescensos de 10 cms cada uno, en lugar de 10 descensos. Esto no reduce solamente la cantidad de sedimento requerido acerca de un 20%, sino que reduce el costo de varios pasos del

análisis en 20%. Los resultados obtenidos como resultado de una altura de caída más corta, han sido comparados adecuadamente con la altura de 100 cms usada por C.R. Collier y H. Stevens Jr, en Columbus Ohio. En efecto, varios laboratorios estan usando rutinariamente la altura de 80 cms.

PREPARACION DE LA MUESTRA

El peso neto de la mezcla agua y sedimento para la muestra total, se indica en las planillas de notas de concentración de sedimentos fig 4-5, antes de que las muestras sean seleccionadas para el análisis del tamaño de las partículas. Las informaciones pertinentes a las muestras deben registrarse en la planilla del tubo BW (fig 15) y en la cartilla de datos totales de las muestras. Después que el sedimento se asiente hasta el fondo de las botellas de muestreo, debe ser decantada la mayor cantidad como sea posible de agua natural libre de sedimento (Nota A. pág 23).

El uso que se recomienda del método del tubo BW es que debe limitarse principalmente al análisis del limo y la arcilla. Si está presente la arena, la cantidad y tamaño ha de ser pequeña. Se recomienda que el método se use solo cuando no este presente el material suficiente, para el análisis por el método de la pipeta.

El método de la pipeta se prefiere debido a que consume menos tiempo, y posiblemente es mas seguro que el tubo BW. En el pasado, el tubo BW habia sido ampliamente usado para arenas gradadas, especialmente antes del advenimiento del tubo VA, pero dificultades considerables se habian experimentado particularmente con tamaños de 0.35 mm y mayores.

FIGURA Nº 15

ANALISIS DEL TAMANO DE LAS PARTICULAS. POR EL METODO DEL TUBO DE DESCENSO DE FONDO

TUBO _____ FILA _____

Datos del Análisis				Muestra Total de los Datos								
Fecha _____ Por _____ Porción Usada _____ Agente Disp. _____				Río _____								
Arenaseca después del tamizado seco	Total _____ gr.	Composición	Nº de botellas _____	Localización _____								
	Tara _____ gr.		Muestra de peso _____ gr.	Fecha _____ Tiempo _____ G.A _____								
	Neto _____ gr.		Muestra de Sed. _____ gr.	Estación _____ Temp. _____ Observador _____								
Tubo	Temperatura _____ °C	Conc. media _____ PPM	Sólidos Disueltos	Cond. Espec. _____ pH _____ Otros _____								
	Sedimento _____ gr.	Volumen _____ cc		Lavado del tubo	Descde agua _____ Computado por _____ Chequeado por _____							
	Volumen _____ cc	Disco Nº _____	Observación:									
	Concentración _____ PPM	Total _____ gr.										
Peso	Fracción de arena _____ gr.	Tara _____ gr.										
	Fracción B.W. _____ gr.	Neto _____ gr.										
	Total de Sed. _____ gr.	Conc. _____ mg/l										
Descenso Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	Tiempo del Reloj											
b	Distancia de caída	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
c	Tiempo de Asent.											
d	Volumen cc.											
e	Contenido Nº											
f	Peso en gr.	Total										
g		Tara										
h		Neto										
i		Correc. S. D.										
j		Sedimento neto										
k		Acumulativo										
l	Factor de profundidad	1,00	1,11	1,25	1,43	1,67	2,00	2,50	3,33	5,00	10,0	—
m	Sed. en suspensión											—
n	% Sed. en suspen.											—
o	Tiempo por 100 cm. (cx 1)											—

El método de tamizado es tanto más seguro y más rápido que el método del tubo BW para la gradación de arenas. Por estas razones, el análisis de arena en la muestra debe ser por el método del tamizado preferiblemente que por el método del tubo VA. Por lo tanto, el método del tubo BW usualmente estará limitado para el análisis de las fracciones de limo y arcilla de muestras conteniendo menos de 1.0 gr de limo y arcilla. Debido a estas limitaciones, una explicación de los procedimientos de cuarteo de las muestras para el análisis por el método del tubo BW no se presentará. Si la arena se remueve antes del análisis con el tubo BW, entonces las curvas de Oden para las fracciones de limo y arcilla, se pueden definir más acertadamente por descensos adicionales para estos tamaños.

Si una muestra contiene menos de 1.8 grs de limo y arcilla para el análisis del tubo BW, y contiene una fracción de arena para ser analizada por el tubo VA ó método de tamizado para la preparación de la muestra anterior al análisis de la respectiva arena y fracciones de limo-arcilla, se procede como se recomienda en las secciones anteriores. Si la fracción de arena va a ser analizada por cualquiera de los métodos VA ó con el método de tamizado, la preparación de la muestra es básicamente la misma, si el método de pipeteado ó del tubo BW, es usado para el análisis de la fracción de limo y arcilla.

ANALISIS CON EL TUBO BW

Una cuidadosa consideración y un procedimiento detallado para los análisis con el tubo BW fué reportado primero en el informe N° 7 (U.S Inter-Agency Committee on Water Resources, Sub-Committee on Sedimentation, 1943, pág 82-88). Este detallado procedimiento y otras experiencias más recientes forman la base del procedimiento recomen -

dado, aquí contenido. La fracción fina que permanece después de remover la fracción gruesa, se transfiere al tubo BW y se diluye hasta el volumen deseado (con agua natural cuando se requiere un medio de asentamiento natural).

DISPERSION

Para asegurar la completa dispersión del sedimento en el medio de asentamiento disperso, es necesario agregar 1 ml de agente dispersante (ver nota B pág 52) para cada 100 ml de suspensión, con el tubo BW la cantidad sería de 5 mls para el tubo de 100 cms y 4 para el de 80 cms.

El agente dispersante, el medio de suspensión (agua destilada o dez-ionizada) debe mezclarse con un agitador de dispersión de suelos por 5 minutos. El factor de corrección por sólidos disueltos a ser aplicado a los sólidos en cada descenso, puede obtenerse, llenando un tubo limpio con una mezcla propia de agente dispersante y agua destilada y entonces bajándola y evaporándola en dos ó más alicuotas de 25 mls.

El bloque de sólidos disueltos (fig 15) suministra un registro y espacio de computación. Antes de colocar el tubo en el tablón para comenzar la operación de asentamiento después de un mezclado mecánico suave, se desempeña colocando un corcho en el extremo superior del tubo e inclinando el fondo del tubo hasta cerca de 10° con la horizontal. Se mantiene en esta posición, se sacude y se lavan las partículas gruesas de la constricción. Una burbuja de aire puede viajar hacia arriba en el tubo y después que alcanza el extremo constricto, entonces todas las partículas gruesas deben ser distribuidas lo más uniformemente posible a lo largo del tubo girándolo suavemente. El tubo se vol-

tea entonces a una posición recta hacia arriba permitiéndole a la burbuja que circule a través de la longitud entera del tubo (acerca de 5 segundos). Se invierte el tubo de un extremo a otro extremo en esta forma, durante 1 minuto (3 minutos cuando el tubo contiene arena) al final de este tiempo, cuando la burbuja esté al final de la constricción, el tubo se gira inmediatamente a una posición recta hacia arriba, y se asegura rápidamente su parada. El tiempo de asentamiento se comienza para el proceso de asentamiento cuando la burbuja parte hacia arriba desde el fondo. El corcho debe removerse cuando la burbuja ha alcanzado el tope.

DESCENSOS

Las fracciones de igual volumen se bajan usualmente usando intervalos de tiempo escogidos de tal modo que se defina la mejor curva de Oden. Cada descenso representaría a una columna con altura de 10 cms, sin embargo, el método puede variar considerablemente cuando las fracciones de cualquier profundidad y volumen deseados, puedan bajarse tanto como pueda cubrirse el rango de tamaño de las partículas y se obtenga el número de puntos suficientes para definir la curva de Oden. Si las recomendaciones precedentes siguen concurriendo en el análisis de limo y arcilla con el tubo BW solamente, entonces un programa adecuado podría implicar tiempos de descenso oscilando entre 3 ó 4 minutos hasta uno de 450 minutos. El programa de los tiempos de descenso y las distancias de cada para cada descenso puede ser determinado de la tabla 7. El anterior programa de tiempos de descensos, podría bien ser pasado al tiempo de sedimentación por definición con una tangente al tamaño de 0,0195 mm. A 20° C, esto podría estar a 520 minutos y a 30° C podrían ser suficientes 420 minutos (para 10 cms).

El descenso actual se comienza 2 ó 3 segundos después del tiempo de descenso escogido. La válvula de cierre se abre hasta llenar el ancho, entonces se cierra lentamente mientras la anterior de las muestras está bajando. Una abertura llena se requiere al comienzo a fin de que con el escape de agua, y puede limpiarse cualquier sedimento depositado en el cono de la constricción.

Debido a que el material mantenido en el menisco no se asienta o cae de acuerdo con la teoría de Oden, al descenso final se paraña mientras el menisco permanece en la garganta del tubo. Debe recordarse que el tiempo de asentamiento como tal, no es el tiempo en que se abre la válvula de cierre, sino el tiempo en que se cierra. Las muestras se bajan en una graduación de 100 ml, a fin de eliminar la posibilidad de perder cualquiera de los muestreos por chapoteo y permitir la medida segura en la cantidad de descenso. Los pipeteados se transfieren cuidadosamente a discos de evaporación mediante lavado con una corriente de agua destilada. Los discos de evaporación se colocan en el horno y se secan a una temperatura cercana al punto de ebullición pero no tan caliente como para causar salpiqueo por calentamiento. Un pequeño frasco en lugar de un disco de evaporación puede usarse para secar el sedimento si es factible para pesar y si no es demasiado dificultosa su limpieza. Cuando los discos o frascos de evaporación están visiblemente secos, se eleva la temperatura a 110° C por una hora, después de lo cual se transfieren los contenidos del horno a un desecador permitiéndoseles enfriar. El procedimiento de pesada es el mismo que para la determinación de las concentraciones del sedimento.

Debido a que la temperatura de suspensión en el tubo afecta grandemente la

TABLA Nº 7

TABLA DE TIEMPO EN EL TUBO DE SEDIMENTACION DE DESCENSO DE FONDO
PARA SER USADA CON LA CURVA DE ODEN.-

DIAMETRO DE PARTICULAS EN M.M

Temperatura °C 0,25 0,125 0,0625 0,0312 0,0156 0,0078 0,0039 0,00195

18-----	0,522	1,48	5,02	20,1	80,5	322	1288	5153
19-----	,515	1,45	4,88	19,6	78,5	314	1256	5026
20-----	,508	1,41	4,77	19,2	76,6	306	1225	4904
21-----	,502	1,39	4,67	18,7	74,9	299	1196	4784
22-----	,496	1,37	4,55	18,3	73,0	292	1168	4674
23-----	,490	1,34	4,45	17,8	71,3	285	1141	4566
24-----	,484	1,32	4,33	17,4	69,6	279	1115	4462
25-----	,478	1,30	4,23	17,0	68,1	273	1090	4361
26-----	,472	1,28	4,15	16,7	66,6	267	1066	4263
27-----	,466	1,26	4,05	16,3	65,1	261	1042	4169
28-----	,460	1,24	3,97	15,9	63,7	255	1019	4079
29-----	,455	1,22	3,88	15,6	62,3	249	997	3992
30-----	,450	1,20	3,80	15,3	61,0	244	976	3907
31-----	,445	1,18	3,71	14,9	59,7	239	956	3826
32-----	,441	1,17	3,65	14,6	58,5	234	936	3747
33-----	,438	1,15	3,58	14,2	57,3	229	917	3671
34-----	,435	1,13	3,51	13,9	56,1	224	898	3599

(El tiempo en minutos requerido para que esferas de peso específico 2,65
caigan 100 centímetros en aguas a temperaturas variables).-

viscosidad del agua y la velocidad de asentamiento de las partículas, la temperatura de la suspensión debe observarse entre los descensos sexto y séptimo. Si la temperatura del laboratorio no es razonablemente constante, serían necesarias lecturas más frecuentes.

REGISTRO DE LOS DATOS

Los datos registrados junto con los cálculos requeridos para obtener los ordenados de la curva de Oden, se señalan en la planilla del tubo de descenso de fondo de las figuras 15 y 16. Los datos se reducen a un sistema que tiene una profundidad de cada constante de 100 cms con el tiempo como una variable. La figura 15 es para un tubo normal de 100 cm, para el cuál puede escogerse cualquier tiempo de asentamiento para los descensos. En la figura 16, se han recomendado tiempos de asentamiento tanto para tubos de 100 como de 80 cms el uso de los cuales, puede ahorrar tiempo considerablemente y posibles errores en la computación. Si se usa entonces, el sistema acortado de 80 cms de profundidad, las dos columnas para las distancias de caídas de 100 y 90 cms indicados por la línea "B" no deben ser usadas.

Se entra sobre las líneas "a" a "g" inclusive, y se indican para cada descenso durante el análisis. El peso neto del sedimento "h" se obtiene por substracción del peso total de la tara.

La corrección por sólidos disueltos "i" se basa en el descenso o volumen evaporado y la información se registra en la tabla de sólidos disueltos. El sedimento total "j", se determina entonces substrayendo "i" de "h". El peso total de sedimento en suspensión de cada profundidad indicada arriba, se obtiene en la línea "k" añadiendo el peso neto acumulado partiendo con el descenso anterior. El factor de profundidad "L" se

ha obtenido dividiendo las alturas de caída "v" entre la profundidad total normal de 100 cms.

Si la altura de caída es diferente de la señalada en "v", entonces pueden usar se valores diferentes de aquellos señalados en "L". Este factor "L" se multiplica por el peso acumulativo "k" reduciéndolo luego al peso "m" que estaría presente en una profundidad de 100 cms a la misma densidad promedio. El porcentaje en suspensión "m" se obtiene como la razón del sedimento en suspensión "m" al peso total del sedimento en la muestra, incluyendo la fracción tamizada; como arena si la hay. La línea "m" puede ser omitida si "n" se calcula directamente por $k \times L \times 100 /$ peso total del sedimento. El peso total del sedimento debe multiplicarse por 1,25 cuando se usa el tubo de 80 cms. El tiempo requerido para la densidad promedio por encima de cada altura observada a ser alcanzada en la caída equivalente a 100 cms "o", es el resultado de aplicar el factor de profundidad "L" al tiempo de asentamiento "c", así los cálculos reducen los tiempos observados de asentamiento y los pesos en suspensión a una profundidad constante de 100 cms.

LA CURVA DE ODEN

La curva de Oden se representa en una planilla que tiene coordenadas rectangulares tales como las señaladas en la planilla experimental de la figura 17. La representación completa de los datos de entrada "n" y "o" a una escala ampliada (de 0 a 7.000 minutos) resultan en una curva superior completa. La representación inferior de las curvas en escalas expandidas tales como de 0-350 y de 0-70 minutos para la mejor de finición de las fracciones gruesas. Si se analizan solamente los tamaños de limo y arci-

FIGURA N° 16

ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS. METODO DEL TUBO DE DESCENSO DE FONDO.

Tubo N° _____ FILA N° _____

Datos del Analisis				Muestra Total de los Datos																				
Fecha _____		Por _____ Porción usada _____		Agente Dispers. _____ c.c.		Río _____																		
Arenaseco después del tamizado a 60.	Total _____	gr.		Composición	N° Botellas _____		Localización _____																	
	Tara _____	gr.			Muestra de paso _____ gr.		Fecha _____		Tiempo _____		G.H _____													
	Neto _____	gr.			Muestra de Sed. _____ gr.		Estación _____		Temperatura _____		°C													
Tubo	Temperatura _____	°C		Conc. media _____		p.p.m.		Conduc. Esp. _____		pH _____														
	Sedimento _____	gr.		Sólidos		Disueltos		Observación _____																
	Volumen _____	cc.		Volumen _____		cc. Original												Dispers.						
Concentración _____	ppm		Disco N° _____																					
Peso	Fracción de arena _____	gr.		Total _____		gr.																		
	Fracción B.W. _____	gr.		Tara _____		gr.																		
	Total de Sedimento _____	gr.		Neto _____		gr.																		
				Conc. _____		mg/l																		
Descenso N° 100/80				0/-	1/-	2/0	3/1	4/2	5/3	6/4	7/5	8/6	9/7	10/8										
a	Tiempo de Reloj																							
b	Distacia de caída en cms.			100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0										
c	Tiempo asent. en min. 100/80			0/-	4/-	12/0	28/3	48/15	100/60	180/120	260/210	360/300	450/450											
d	Volumen c.c.																							
e	Contenido N°																							
f	Total																							
g	Tara																							
h	Neto																							
i	Correc. S. D.																							
j	Sed. Neto																							
k	Acumulativo																							
l	Factor de profund. 100/(b)			1,00	1,11	1,25	1,43	1,66	2,00	2,50	3,33	5,00	10,0											
m	Sed. en Suspensión (K x l)																							
n	% Sed. en Suspensión																							
o	Tiempo x 100 cm. (c x l) - min. 100/8			0/-	4,44/-	15,0/0	40,0/4,29	80,0/25	200/120	450/300	867/700	1800/1500	4500/4500											

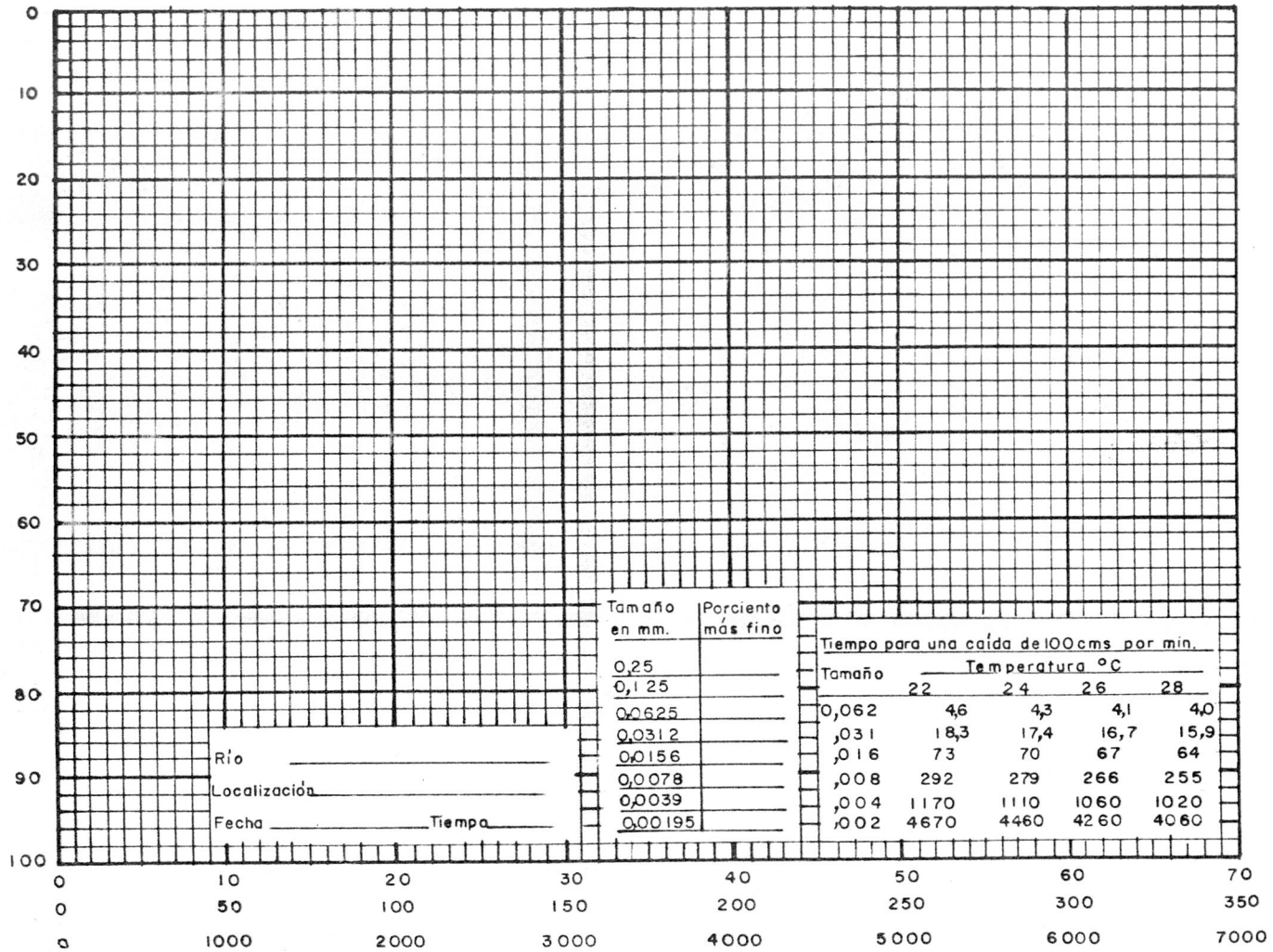
Nota: 100/80 Se refiere a la longitud del tubo de saque.-

PLANILLAS DE LABORATORIO. ANALISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS. METODO DEL TUBO DE DESCENSO DE FONDO.- (EXPERIMENTAL).

FIGURA N° 17

CURVA DE ODEN. METODO DEL TUBO B.W.

PORCIENTO EN SUSPENSION 100 CMS. DE PROFUNDIDAD



TIEMPO EN MINUTOS

PLANILLA DE EJEMPLO PARA REPRESENTAR LA CURVA DE ODEN

lla, entonces no sería necesario usar una escala de 0-70 minutos.

Otra escala horizontal (de tiempo) debe usarse en otros tipos de papel con coordenadas rectangulares tan grandes como sea conveniente para dibujar curvas suaves a través de los puntos ploteados.

Si por casualidad, un laboratorio puede operar con un tubo de longitud y tiempos de descenso específicos recomendados, dados en la fig 16, entonces las líneas representadas en las abscisas de la curva de Oden, (fig 17) pueden ser marcados con anticipación, así se aumenta la eficiencia y se reducen las posibilidades de error. Los puntos de tangencia a la curva, se determinan por los tamaños deseados para la gradación y temperatura de la suspensión como se indica en la tabla 7.

El intercepto de la tangente en el punto del tiempo indicado por el tamaño dado, a la ordenada del tiempo cero (porcentaje de suspensión) puede leerse como el porcentaje más fino que el tamaño indicado. Debe tenerse cuidado con la construcción de la curva de Oden y el trazado de las tangentes, debido a que la forma de la curva puede afectar grandemente al intercepto de la tangente con la escala de los porcentajes. En la mayoría de las muestras la pendiente de la curva, no alcanza al cero sobre el período de tiempo cubierto por el análisis debido a que muchas partículas finas todavía están asentándose durante el tiempo del programa anterior de descenso. Obviamente, la curva nunca debe tener una inversión o incremento de la pendiente.

Si se nota un incremento a la pendiente, puede ser el resultado de la floculación de las partículas de limo y arcilla durante el proceso de sedimentación. Esta floculación ocurre mayormente en un medio de asentamiento en agua natural y puede ocurrir en

un medio de asentamiento propiamente disperso, también es aparente que una tangente a una curva con una pendiente demasiado inclinada con una curvatura demasiado aguda, no puede resultar con la seguridad deseada. El uso propio de las escalas de tiempos ampliados, pueden aliviar algunas de éstas dificultades. Las comparaciones de los interceptos para algunos tamaños de partículas dadas de las curvas a escalas diferentes, es preferible para asegurar la construcción consistente de las curvas. Debe notarse que si la arena se separa antes del análisis, la "curva" debe ser una línea recta hasta "el tiempo de 0,062".

LAS LIMITACIONES DEL TUBO BW PARA LA ARENA

En el caso de que el tubo BW se use para la arena de 0,062 a 0,35 mm, puede ser útil la siguiente discusión basada en un estudio comprensivo del uso del tubo BW con pestañas de vidrio (U.S Inter-Agency Committee on Water Resources, Sub-Committee on Sedimentation 1953).

En consideración de las condiciones de asentamiento, aparte de los recomendados de 3.500 mg/l de limo y arcilla, se ha encontrado que las concentraciones de estas arenas finas hasta 10.000 mg/l, pueden usarse con seguridad.

Con el rango de tamaño nominal oscilando de 0,03 a 0,35 mm, los resultados se hacen más seguros en base al porcentaje cuando la concentración de la muestra aumenta; el error promedio disminuye de + 5.2% a una concentración de 1000 a 0.5 por ciento a una concentración de 10000 mg/l. Se asume que mucho del error está gobernado por la seguridad de los métodos del laboratorio, tales como la determinación de volumen y pesada. De aquí que las más afectadas son las bajas concentraciones.

Se ha notado también, que el primer descenso contiene las partículas de are na más gruesas, y si es así, puede estar sujeto a considerable error. Así que, un punto que represente este descenso, no puede ser incluido en una curva de Oden suave no rever sible desde el origen a través de éste punto. Los errores pueden resultar de la pobre dis tribución de las partículas gruesas en el medio de asentamiento, debido a que las partícu- las se deslizan a lo largo de las paredes para los primeros cinco segundos de asentamiento, ó debido a la acción de la burbuja cuando se traslada a lo largo del tubo. Algunas veces las técnicas fallan para obtener un régimen consistente de sedimentación con la teoría de sedimentación de Oden en un sistema disperso, en este caso, los errores que resultan de un descenso específico son llevados en el resto de la curva de Oden, pero se hacen gradual mente de menor importancia en los descensos posteriores. Para una concentración dada de la suspensión como la indicada arriba se ha encontrado, que con un tamaño máximo de 0.25 mm los resultados del primer descenso a menudo se hacen erráticos y a 0.35 mm ó ma yores, los resultados son generalmente independientes.

Como se indicó arriba, la suma de los errores en el método del tubo BW, pueden atribuirse a la influencia de las técnicas operacionales más que a las limitaciones del aparato. En un sentido estadístico, un análisis puede dar el tamaño del grano medio correcto y ser todavía erróneo en muchos aspectos, o puede dar la cantidad correcta de muchas de las porciones de tamaño, aunque la curva de porcentajes más finos sean seria- mente erróneas. Es posible que los resultados promedios de varios análisis puedan ser com pletamente seguros, aun si el análisis individual pueda desviarse considerablemente de los tamaños reales.

DETERMINACION DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE DEPOSITOS DE SEDI - MENTOS Y MUESTRAS DE SUELO

La distribución del tamaño de las partículas de muestras representando depósitos de sedimentos y suelos se han hecho recientemente importantes en las investigaciones de sedimentos fluviales. Se incluyen las muestras que representan condiciones del transporte de sedimentos en ríos y embalses y condiciones de erosión como fuentes de sedimento fluvial. Las fórmulas usadas para el cómputo de la descarga total del sedimento y la descarga de fondo requieren tales datos.

Las muestras de material de lecho en los ríos, son generalmente tomados por medio de un muestreador de tipo pistón o un muestreador BM-54. Los muestreos de embalses se obtienen por varios tipos de muestreadores de cucharas y abrazaderas. Las corrientes que tienen un amplio rango en la gradación de tamaños (arenas finas a quijarros o cantos) pueden ser muestreados mejor cuando estan secas o a niveles muy bajos con palas. Las muestras de suelos se toman de un arreglo predeterminado en la superficie de fosas u hoyas Auger. En la mayoría la localización de los depósitos de sedimentos o suelos, en cualquier cantidad deseada de material de lecho, puede tomarse convenientemente y rápidamente por lo tanto, en contraste con la mayoría de las muestras de sedimento suspendido, una abundancia de material es disponible generalmente para el análisis.

EQUIPO Y METODO DE MANIPULEO

La distribución de las partículas mayores de material de lecho (peñones y mayores) pueden medirse en sitio. Si se usan medidas manuales aproximadamente 100 partículas son medidas como muestras, determinada según la localización de un sistema de re

jas. Se está evaluando un método, que usa solamente un cuadro de las partículas del lecho y un analizador del tamaño de las partículas ZEISS. El equipo requerido para el análisis del tamaño de las partículas de arcilla, limo, arena, y tamaños de grava de un lecho de la corriente y un material de suelo, es básicamente el mismo requerido para el análisis del sedimento en suspensión. El equipo debe ser capaz de analizar las mejores y más óptimas cantidades de material que se encuentran usualmente en muestras de sedimentos en suspensión, mientras que un nido de tamices de diámetro de 3 pulgadas (8 cms) es satisfactorio para el análisis de arena de muestras de sedimentos en suspensión, un nido de tamices de 8 pulgadas (20 cms) y una máquina tamizadora "Rotap" es más conveniente para material de lecho y muestras de suelo.

Mientras que un tubo VA de 120 cms de longitud es satisfactorio para el análisis del sedimento en suspensión, el tubo VA de 180 cms de longitud, es generalmente más conveniente y seguro, para el análisis de la fracción de arena de la mayoría de las muestras de material de lecho.

La distribución del tamaño de las partículas y la cantidad de muestra deben determinar el equipo y método de manipuleo. Una muestra que contenga un rango de tamaños de guijarros y peñones bajando hasta arenas finas, por ejemplo, puede requerir preparación manual, antes del análisis de los guijarros finos y granulos por tamizado y antes de separar y analizar las arenas finas por el tubo VA, las muestras que contienen partículas tan grandes, no contienen ordinariamente cantidades medibles de limo y arcilla. Si ambas muestras "fino" y "grosso" se obtienen en diferentes sitios a través del canal como es a menudo el caso en muchos sistemas de ríos, la distribución del tamaño debe ser defini

da para cada muestra.

A través de muchos ríos con lecho arenoso, sin embargo la diferencia de la distribución en el tramo es diferente y solamente se requiere la distribución media.

Para este tipo de ríos las muestras deben ser compuestas, mezcladas y entonces cuarteadas en un tamaño conveniente para el análisis. Es necesaria la cantidad usual de material, en los tamaños de guijarros pequeños y finos para adquirir la distribución en la sección de medición, tal que, la separación de la muestra se precise antes de que pueda ser hecho el análisis. Por lo tanto, debe disponerse de un cuarteador grande y uno pequeño tipo JONES.

MEDIDAS IN SITU

Las partículas mayores deben medirse in situ debido a que es impráctico llevar una muestra adecuada y representativa hasta el laboratorio.

Toscamente 100 partículas deben medirse para representar una muestra (más, si el rango del tamaño es de grava o peñones y menos si el material es completamente uniforme en tamaño). Un arreglo en malla que localice los puntos de muestreo debe ubicarse, delineado por prospección o diseñado por bolillas flotantes.

Las partículas "subyacentes" al pie de una de las intersecciones al punto de la reja se recupera (Noldman M.G 1954) y se hace una medición del diámetro intermedio, corto o de todos los tres.

DIAMETRO NOMINAL POR INMERSION

Si se desea el diámetro nominal, entonces la partícula debe ser sumergida en

un cilindro con una escala volumétrica sobre un lado para indicar el volumen de agua desplazado por la partícula. Para mejores resultados con la técnica de la inmersión, al diámetro del cilindro no debe ser mayor de dos veces el diámetro nominal de la partícula; por lo tanto, se requieren varios de tales cilindros de diferentes tamaños. Se recomiendan los cilindros de 4, 8, 16 y 32 cms de diámetro. La solución de la ecuación $d = 1,24 \sqrt[1]{13}$ se necesita para convertir los volúmenes desplazados en diámetros nominales. Una tabla de volumen de diámetros típicos también pueden usarse. Las medidas y diámetros, se tabulan de acuerdo al intervalo de tamaño del cual el porcentaje del total para cada intervalo, puede entonces, determinarse.

EL ANALIZADOR ZEISS

El método del conteo de "guijarros" implica la medición de partículas seleccionadas "al azar" en el campo, bajo condiciones frecuentemente muy difíciles y el número contado no parecería representar la población. Por lo tanto, el uso del analizador de partículas ZEISS debe ser considerado (RITTER Y HELLEY, 1968). Con este método, se hace una fotografía del lecho preferiblemente en caudales bajos con una cámara de 35 mm soportada por un trípode aproximadamente a 2 metros por encima del lecho del río dependiendo la altura, del tamaño de los materiales del lecho, una escala de referencia tal como un rollo de acceso ó un rodillo de prospección, debe aparecer en la fotografía. Las fotografías se imprimen en el papel mas delgado disponible. Un diafragma irizado, iluminado desde un lado se proyecta por un lente en un plato de plexiglass plano (ver fig 18). La fotografía se coloca en éste plato. Ajustando el diafragma irizado, el diámetro de la mancha de luz circular definida agudamente que aparece sobre la fotografía, puede cam-

biarse y su área se hace igual a la de las partículas individuales. Como se registran diferentes diámetros, con un punzón se marcan las partículas contados sobre la fotografía. Un operador eficiente puede contar mil partículas en media hora.

Los diámetros pueden registrarse acumulativamente o individualmente sobre es calas de tamaños exponenciales o lineales. Después que se tabulan los datos, se registran los tamaños en un contador del analizador del tamaño de las partículas, y puede multiplicarse por el factor de reducción de la fotografía el cuál se calcula de la escala de referencia en la fotografía.

Debido al costo del aparato (aproximadamente B\$ 15.500) y lo fácil para transportar las fotografías, es obvio que un instrumento sencillo y un operador puede emplearse para usar en diferentes distritos o aun en regiones.

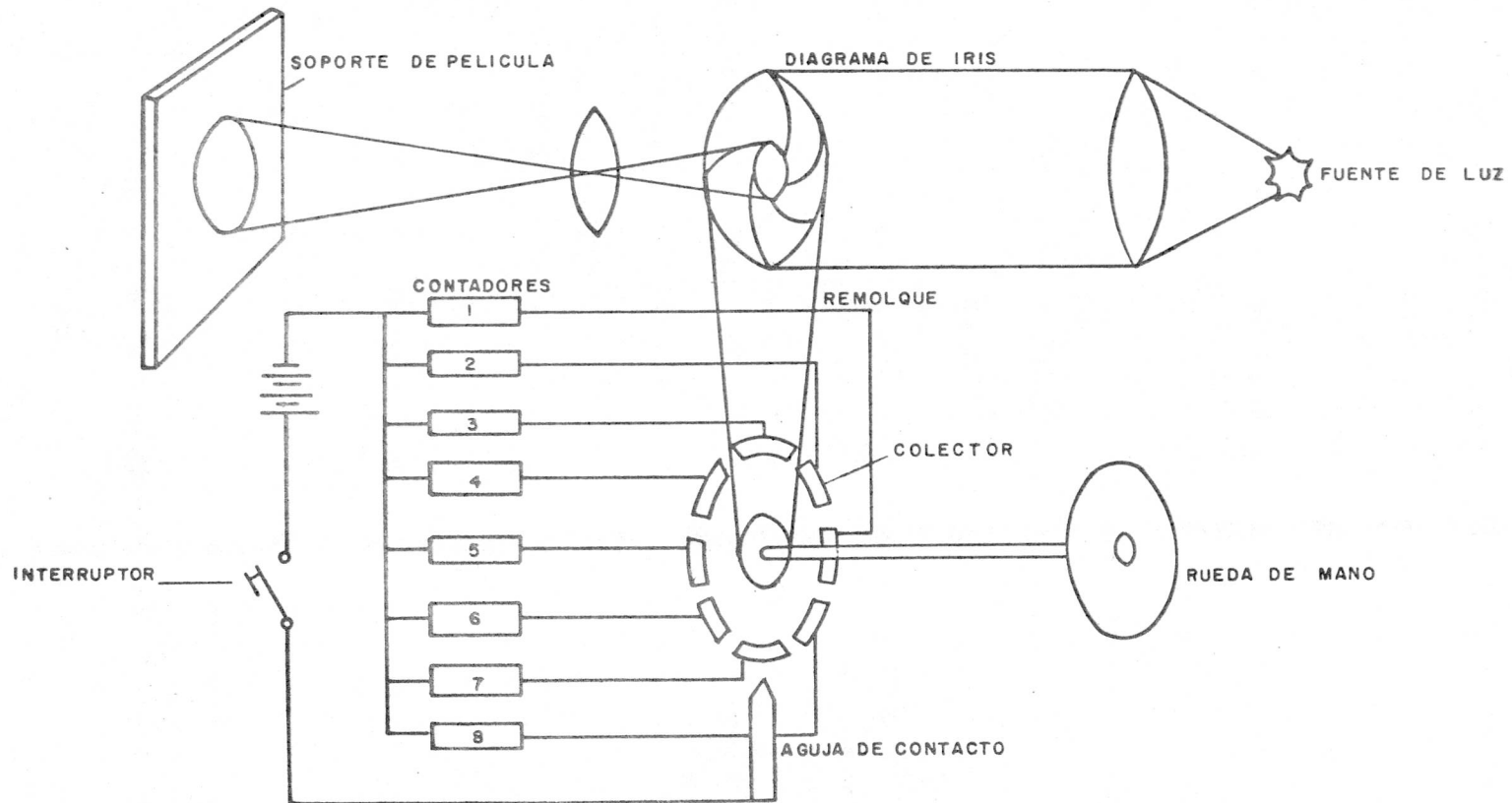
Resultados "Normalizados" podrían asegurarse entonces, con un mínimo de manualización.

ANALISIS DE LABORATORIO. PREPARACION Y PROCEDIMIENTO

Las planillas usadas para el análisis con el tubo VA (ver fig 10, 11, 12) han sido diseñadas para incluir espacios de registros suficientes para un análisis completo de ocho tamaños de guijarros gruesos y arena, los tamaños usuales del tubo VA y la pipeta. Si se requiere separar más de ocho tamaños por tamizado, la planilla puede no ser suficiente y debe ser alargada para fijar al final de otra planilla. De éste modo la planilla puede ser alargada hasta un total de 16 espacios.

Las partículas demasiado grandes para tamizar si las hay, son manualmente removidos de la muestra. Los tamaños pueden ser individualmente determinados por dos mé

FIGURA N° 18



ESQUEMA DIAGRAMATICO DEL ANALIZADOR DEL TAMAÑO
DE LAS PARTICULAS ZEISS

todos:

- 1 El diámetro nominal se encuentra determinando el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen de la partícula. La técnica de inmersión mencionada previamente, es un modo rápido y conveniente de obtener el volumen de la partícula cuando las partículas son demasiado grandes o muy pocas para tamizar.
- 2 El diámetro nominal sin embargo desprecia el importante aspecto de la forma de la partícula, y por lo tanto las características adicionales de tamaño deben obtenerse midiendo los diámetros más largo, intermedios, y más cortos designándolos como a, b y c respectivamente.

Estas estadísticas pueden usarse para computar el diámetro medio con la fórmula:

$$d_m = 1/3 (a + b + c)$$

Los detalles adicionales relacionados con el método de las mediciones estadísticas de partículas mayores han sido derivados previamente, y dados por KRUMBEIM y PETTIJONH 1938, pág 143 y 146.

Las muestras de material del lecho se encuentran generalmente en una condición seca, cuando se comienza la preparación de la muestra.

Si la muestra está compuesta de una arena suelta, o incoherente de arena y partículas gruesas, y si el método del tamizado va a usarse solamente, se recomienda el siguiente procedimiento: obtenga el peso neto de toda la muestra, y si éste peso es mayor de 100 gr use el separador Jones-Otto para obtener una porción que pese entre 50 y 100 gr. Se juntan los pesos de la muestra total y se separa una porción en un lugar apropiado sobre la planilla de análisis. Se coloca la porción separada de la muestra en un nido de

tamices de 8 cms de diámetro (20 cms) compuesta de tamices que tengan aberturas cuadras en sus lados de 0,062; 0,250; 0,50; 1,0; 2,0; 4,0 y 8 mm; se coloca en la máquina tamizadora "Ro-Tap" y se tamiza por 15 minutos, el peso del material en cada fracción del tamiz entonces se determina, y se registra en un lugar apropiado sobre la planilla de análisis. Si no se dispone de una máquina tamizadora "Ro-Tap" y se usa un nido de tamices de 3 pulgadas de diámetro (8 cms) el procedimiento es el mismo, excepto que la correspondiente porción de separación más pequeña, debe obtenerse.

Si la muestra está compuesta de una arena suelta y si va a usarse el método del tamizado para las arenas más gruesas y otras partículas gruesas y el método del tubo VA, va a usarse para el análisis de los gruesos hasta la arena muy fina, se recomienda el siguiente procedimiento: Se registra el peso de la muestra total en la planilla de análisis. Si el peso de la muestra es 400 gr ó menos y si el porcentaje de material grueso parece ser relativamente menor, la muestra se coloca en un nido de tamices de 8 pulgadas de diámetro (20 cms), compuesto de 1,2; 2,0; 4,0 y 8,0 mm. Se determina y se registra el peso del material en cada una de las fracciones, el material que pasa el tamiz de 1,2 cms se separa y se cuartea en una porción que no exceda de 15 gr y se analiza por el método del tubo VA. Si la muestra original pesa menos de 400 gr y una parte apreciable de la muestra es material grueso, la muestra debe separarse y se realiza el análisis por tamizado para la porción separada.

El tamiz de 1,2 mm en lugar del de 1 mm, se usa para la separación de la fracción del tubo VA debido a la posibilidad de incluir en el análisis del tubo VA a todas las partículas que tienen diámetros de sedimentación de 1 mm ó menos. Si el tamiz de

un milímetro fuera usado para la separación, algunas partículas que tienen P.E. considerablemente menor que 2,65 ó que tienen formas que difieren ampliamente de la esférica, podrían retenerse probablemente en el tamiz de 1 mm, aunque los diámetros de sedimentación de éstas partículas puedan ser considerablemente menores que 1 mm. El uso de un tamiz de 1,2 mm, permite las determinaciones de diámetros de 1,2 mm con algún grado de seguridad tal que, aproximadamente, todas las partículas de éste diámetro de sedimentación o menor serían incluidas en el análisis.

Si el material de lecho de la muestra está compuesto de limo y arcilla en su condición seca, el material podría mojarse completamente, dispersarse mecánicamente, separado y analizado por el método de la pipeta. En este caso, el procedimiento es similar al procedimiento usado para el análisis de muestras de sedimento en suspensión.

Algunas muestras de material de lecho pueden señalar tan amplio rango en el tamaño de las partículas que un análisis completo del tamaño de las partículas puede implicar el uso de los métodos del tamizado, el tubo VA y la pipeta. Para tales muestras, la parte inicial del procedimiento es exactamente al descrito para análisis por el tubo VA y tamizado; sin embargo, una separación adicional sigue entonces a la separación de la fracción que pasa al tamiz de 1,2 mm.

Esta separación adicional remueve la fracción de la pipeta de la fracción del tubo VA. El procedimiento de separación es el mismo, cuando la muestra es de sedimento en suspensión ó de material del lecho.

CALCULO DE RESULTADOS

Muchos de los detalles en el procedimiento para el cálculo del resultado del

tamaño de las partículas de depósitos de sedimentos y muestra de suelo, son idénticos con aquellos para muestras en suspensión y por lo tanto no necesitan repetirse. De aquí que se harán muy pocos establecimientos generales relacionados con el procedimiento.

Si el tamaño de las partículas se limita al rango de arena y todos los tamaños se determinan por el método del tubo VA, ni el peso total de la muestra ni el peso de la porción cuarteada y analizada en el tubo VA, necesita determinarse. Una escala de cien divisiones se usa para determinar los valores de porcentajes finos. El "100" se coloca en la línea base de la gráfica VA y el "0" se sitúa sobre la línea de acumulación total. Los valores se leen entonces directamente de la escala.

Si los métodos del tamizado y del tubo VA se usaran solamente para el análisis, el peso total de la muestra y el total de la fracción de cada tamiz necesita determinarse. De nuevo, el peso de la fracción del tubo VA no necesita determinarse. El análisis de tamizado de las fracciones más gruesas, podría indicar el porcentaje más fino que 1,2 mm. Usando una escala de "100" divisiones se coloca el porcentaje más fino que 1,2 mm sobre la línea base y se coloca el "0" en la línea de acumulación total. Los valores de porcentajes más finos para 1,0 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 y 0,0625 mm se leen entonces directamente de la escala.

Si las mediciones directas en los métodos del tamizado, del tubo VA y de la pipeta se usan todos para un análisis, puede determinarse entonces, el peso de cada partícula mayor para cada fracción del tamiz, la porción separada que incluye las porciones del tubo VA y la pipeta y todas las porciones directamente no usadas para el análisis en el cálculo de los resultados. El peso de la fracción en el tubo VA puede obtenerse

por diferencia entre el peso de la porción cuarteada y el peso de la fracción de la pipeta en la porción cuarteada.

ANÁLISIS MECÁNICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Los métodos para la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de las muestras de suelo, son esencialmente las mismas como para el material de lecho y otros depósitos de sedimentos. El propósito del análisis mecánico de suelos determina el mejor método para su análisis. En las ciencias del suelo, la clasificación que separa la arena (arena muy fina, arena fina, arena media y así sucesivamente) se basa en el diámetro del tamizado de las partículas de arena por lo tanto, si el propósito del análisis mecánico del suelo es determinar la textura de éste y la composición porcentual por separación del suelo, y si los resultados van a compararse con los datos de suelo disponibles, obtenidos por otros investigadores el método de tamizado puede usarse para determinar la distribución del tamaño de las partículas de la fracción de arena. Sin embargo, si el propósito del análisis de suelo es determinar las características hidráulicas y de transporte de arena, el método del tubo VA puede usarse probablemente para el análisis de arena despreciando el método usado para el análisis de la fracción de limo y arcilla. Las muestras de suelo pueden comunmente contener considerables cantidades tanto en material orgánico macroscópico como microscópico, el método para remoción de material orgánico del suelo, es el mismo empleado que para las muestras de sedimentos (ver nota B, página 52).

Las muestras tomadas en algunos horizontes del suelo y de algunos lechos de

ríos pueden contener carbonatos y/u otras concreciones de mucho mayor tamaño que la matriz del suelo en los cuales las concreciones se formaron. El deseo de incluir tal material concrecionario en el análisis puede depender del uso que se va a hacer con los datos, y del tamaño de las partículas. Para estas muestras dos análisis de tamaño deben hacerse en porciones separadas. Un análisis sobre una porción es tratada con ácido para remover los carbonatos y el otro análisis sobre una porción no tratada. El porcentaje de pérdida de un peso que resulta del tratamiento con ácido, debe ser computada para tales muestras.

OTRAS DETERMINACIONES RELACIONADAS CON EL ANALISIS DEL SEDIMENTO. MATERIAL ORGANICO

El material orgánico tomado con la muestra de sedimento pueden oscilar desde fibras microscópicas de materiales de plantas y carbón a humus coloidal microscópico. Ni la forma macroscópica ni la microscópica tienen mayor significancia en la mayoría de las cuencas de drenaje con respecto a la determinación de la concentración de sedimentos, debido a que la concentración se define como la razón del peso, de materia seca en la muestra, al volumen de mezcla de agua sedimento. La excepción a esto, puede encontrarse en aquellos ríos utilizados para lavar carbón. La materia orgánica, afecta sin embargo el peso específico promedio y afecta grandemente el análisis del tamaño de las partículas en caso de que exista en cantidades elevadas.

RELACIONES ENTRE TAMAÑO DE LAS PARTICULAS Y EL MEDIO DE ASENTAMIENTO

La determinación cuantitativa del material orgánico se recomienda general-

mente para una mitad de las muestras analizadas por granulometría y todas aquellas que sean analizadas en el agua natural como medio de asentamiento, si las cantidades de materiales orgánicos es 5% ó más de la cantidad de sedimento total. Debe enfatizarse, que la porción de la muestra actualmente analizada para granulometría en un medio de asentamiento en agua nativa, no debe tratarse para remover el material orgánico. La descomposición de la materia orgánica no lleva solamente a la formación de dióxido de carbono y agua, sino también en la liberación de todos los iones que se incorporan del material orgánico. Por lo tanto, es obvio que la oxidación del material orgánico puede afectar marcadamente la calidad del agua natural, y las características de las partículas de sedimentos.

En el proceso del análisis del sedimento para el análisis del tamaño de las partículas en un medio de asentamiento disperso, es deseable generalmente, remover algunas relativamente pequeñas cantidades de materia orgánica si se encuentra en estado de humus coloidal, el cuál actúa como un agente de bloqueo para los agregados ó flóculos (ROBINSON 1922). Robinson fué el primero en señalar que las muestras que contenían apreciables cantidades de materia orgánica, no podían dispersarse adecuadamente a menos que, la materia orgánica se removiese. Un posterior incremento en el porcentaje de arcilla se obtuvo para algunas muestras por tratamiento con peróxido de hidrógeno, otros investigadores (BABER 1956), también han encontrado que la oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno es esencial para completar la dispersión de las partículas de suelo.

PROCEDIMIENTO DE REMOCION

Es buena concordancia con las recomendaciones de la Sociedad Internaciou

nal de Ciencias del Suelo, se sugiere el siguiente procedimiento para la remoción de la mayoría de las formas de material orgánico; añada 5 ml al 6% de peróxido de hidrógeno por cada gramo de muestra (seca) la cuál está contenida en 40 ml de agua. Agite fuertemente y tápelo en un medio de asentamiento de agua natural. Los fragmentos mayores que el material orgánico deben eliminarse en esta etapa y puede asumirse que ellos están libres de sedimentos.

Si la oxidación es lenta, o se hace lenta después, la mezcla se calienta a 93° C y se agita ocasionalmente. La adición de más peróxido de hidrógeno (soluciones) podría ser necesario para completar la oxidación. Después que la reacción se ha parado completamente, se lava el sedimento con agua destilada.

Para muestras que contienen cantidades significantes de carbón es esencial, que la separación y la determinación cuantitativa se base en las diferencias en el peso específico. Esta separación debe acompañarse con una mezcla de bromoformo y acetona ajustado a un P.E de 1,95 (White y Lindholm, 1950).

Parte del sedimento flota o se asienta en las porciones más pesadas o livianas respectivamente con peso específico de 1,95. En la programación para la determinación del tamaño de las partículas para algunas muestras, debe darse atención a la factibilidad de analizar tanto la mezcla de todos los sedimentos como las partes más pesadas con un peso específico de 1,95.

Debido a lo drástico y a los efectos desconocidos del sedimento (de otros, además del material orgánico) el proceso de combustión para remover la materia orgánica no debe usarse. Por ejemplo, en 83 muestras de sedimentos en suspensión en el río Schuylkill

en Berna, Pa, se separaron mediante el proceso de la separación líquida de arriba, 28% más liviano y 72% más pesado que 1,95, y se encontró que la ignición a 800° C por un período de una hora o hasta obtener una combustión completa, resultó entre 25 y 61 por ciento de ceniza para los separados livianos y pesados respectivamente. La fracción más pesada puede haber contenido algo de sustancias orgánicas pesadas, pero la mayoría de las pérdidas en 39% se debieron a las pérdidas de agua en los minerales y probablemente a la volatilización de algunos de los constituyentes minerales.

DESTRUCCION DE LOS AGREGADOS

Si la fracción de limo y arcilla de una muestra dada se va a analizar tanto en un medio disperso como en un medio de agua natural, la dispersión completa de una porción, requiere la remoción de agentes de bloques orgánicos, mientras que la porción a ser analizada en agua natural no se tratará así. Sin embargo, estos requisitos crean un problema en la interpretación de los datos resultantes del tamaño de las partículas. Muchos de los pequeños agregados o flóculos transportados por ríos especialmente en niveles altos, son agregados de suelos cuya condición floculada, no es debida a la calidad química del agua del río sino a las condiciones del suelo en el punto de origen.

Si estos agregados se destruyen o se disgregan por tratamiento con peróxido de hidrógeno durante la preparación de la muestra para análisis en un medio de asentamiento disperso, entonces las diferencias entre los análisis de tamaño en el medio disperso y natural no se deben solamente a la habilidad de floculación del agua natural, sino también a la destrucción de los agregados naturales del suelo.

En vista del problema de la destrucción de los agregados, se recomienda que para

algunos muestreos la distribución del tamaño de las partículas, se determine usando tres medios de asentamiento diferentes. Una porción debe tratarse con peróxido de hidrógeno y dispersarse química y mecánicamente una segunda porción, debe dispersarse química y mecánicamente pero sin tratar con peróxido de hidrógeno y una tercera porción debe analizarse en un medio de agua natural, y por lo tanto, sin tratarse con peróxido de hidrógeno.

Este tratamiento en tres formas no indicaría solamente el potencial de floculación del agua natural, sino que también indicaría el efecto, si lo hay, de materia orgánica en la distribución aparente del tamaño de las partículas de las muestras de sedimentos.

SOLIDOS DISUELTOS

El término sólidos disueltos se refiere teóricamente al residuo anhidro de la substancia disuelta en agua sin incluir los gases y líquidos volátiles.

En realidad el término se define, en una forma cuantitativa por el método usado en su determinación. Por ejemplo, con el método de evaporación del residuo, tanto la temperatura de secado como la extensión del tiempo de secado puedan afectar el resultado. La cantidad de material en el disco de evaporación es también un factor (Rainwater and Thatcher, 1959); los residuos masivos ceden su agua de cristalización más lentamente que aquellos residuos laminados y pueden formarse bolsillos de agua sellados. La información de sólidos disueltos se usa en la investigación de sedimentos en tres formas:

- 1 La concentración neta del sedimento determinada por el método de se

dimentación-decantación, evaporación, puede necesitar corrección si el contenido de sólidos disueltos del agua evaporada, es relativamente alta (pág 26) y si la concentración del sedimento es relativamente baja.

- 2 Los sólidos disueltos tanto en un medio de asentamiento en agua natural como en uno químicamente disperso, deben ser conocidos para el análisis granulométrico (pág 56) para determinar una producción confiable de los datos.
- 3 La concentración de los sólidos disueltos debe publicarse con el análisis de tamaño determinado, con un medio de asentamiento en agua natural para una posible correlación con las tendencias de floculación.

La determinación de sólidos disueltos en los laboratorios de sedimentación, deben hacerse por el método de la evaporación del residuo. Un volumen de muestra que pueda llevar menos de 200 mg de residuo, se evapora lentamente hasta secarla, usando un baño de vapor si está disponible. El residuo se seca a 110° C durante una hora, se enfría en un desecador y se pesa inmediatamente. Un desecante eficiente debe usarse mientras que muchas de las sales en el residuo, son higroscópicas. Se recomienda Alúmina con un indicador de humedad, al residuo seco, no debe permitírsele que permanezca por largos períodos de tiempo antes de pesar. Solamente, unos pocos discos de residuo deben incluirse en un desecador, debido al efecto de contaminación con el aire externo durante la pesada. Bajo ninguna circunstancia, deben enfriarse los discos de sólidos disueltos en un desecador que contenga discos con sedimentos, a menos que se conozca que el sedimento está principalmente formado por partículas del tamaño de arena.

El cálculo recomendado para la concentración es:

$$\text{mg/l de sólidos disueltos} = \frac{\text{gr de residuo} \times 1.000.000}{\text{ml de muestra}}$$

la respuesta debe reportarse tan próximo al número total y hasta solamente tres cifras significativas por encima de 1.000 mg/l.

ANALISIS RELACIONADO CON LA CALIDAD DE AGUA

En relación con la obtención de una comprensión de los efectos del ambiente sobre el sedimento fluvial especialmente con respecto al transporte y deposición, es aconsejable evaluar la conductancia específica, el P.H, la concentración de calcio, Bicarbonato, Sodio, Potasio y Magnesio para todas las muestras separadas para análisis de tamaño de partículas tanto en un medio químicamente disperso como en uno de asentamiento en agua natural. Estas determinaciones se hacen más eficientemente en un laboratorio químico, usando equipos y métodos normales. Una muestra de agua natural que consista al menos de 200 ml, debe tomarse previamente a la separación del sedimento, cerrada y almacenada cuidadosamente hasta analizar en el laboratorio químico. La muestra se saca previamente al análisis del tamaño de las partículas, debido a que es deseable incluir el efecto de almacenaje con el sedimento. Los resultados de este análisis químico, se anotan entonces como constituyentes del medio de asentamiento del agua natural, para el análisis de tamaño y puede o no ser representativa del río, en el instante en que se tomó la muestra de sedimento. Debe enfatizarse, que tanto los análisis de tamaño en agua natural, como el de análisis relacionado con la calidad del agua, deben ser efectuados tan pronto como sea posible, después que las muestras sean tomadas, a fin de disminuir los efectos del almacenaje resultante de la interacción de los iones y el sedimento.

PESO ESPECIFICO

La medida del peso específico se acompaña con la medición directa del peso y el volumen. Generalmente el peso puede ser determinado fácilmente con un buen grado de seguridad. La seguridad del método, depende de la seguridad de la medida del volu-

men. Si las partículas de muestras son grandes (entre 20 y 30 mm de diámetro) el volumen se determina observando el volumen desplazado del líquido antes y después de la inversión de las partículas del sedimento. El método directo de las mediciones de volumen, es más aconsejable para fragmentos grandes, pero puede conducir a errores considerables, debido al aire que lleva el espacio poroso en ó sobre el objeto o muestra. Para el sedimento fino, donde las pequeñas muestras deben ser usadas, la medición con el pignómetro es el más satisfactorio.

El método implica el bien conocido principio de Arquímedes en el cuál el volumen se determina pesando el pignómetro, el cuál mantiene un volumen definido; primero con agua destilada y luego con el sedimento añadido al agua destilada. La pesada inicial para el agua, debe ser a 15° C y el peso se identifica como "a". Se remueve uno o dos ml del agua y se añade 1 gr de la muestra.

Use succión o calentamiento para remover las burbujas del agua y llene de nuevo con agua a la misma temperatura. Se pesa y se registra a éste peso, como "b".

El peso específico puede ser computado como $1 / [(a + 1) - b]$. Si algún otro líquido substituye al agua para evitar la dificultad con las burbujas de aire que se adhieren a la arena o al material triturado, la computación debe tomar en cuenta obviamente, el peso específico del líquido.

PESO UNITARIO

El peso unitario es el peso por unidad de volumen. En el sistema métrico de gr/cm^3 , el peso específico sería igual al peso unitario. Las dimensiones, más comunes

del sistema ingles en relación con los suelos y los depósitos de sedimentos o las mezclas de agua y sedimento es la de libra por pies cúbico. El método de medición es tan simple que se requiere el peso seco de un volumen conocido de un material no perturbado.

El principal problema es entonces, obtener de un muestreo, la cantidad correcta de material para el volumen de muestra dada, luego la dificultad es que cualquier técnica de muestreo, parece perturbar la muestra en alguna forma.

B I B L I O G R A F I A

- BAVER, L. D., 1956
Soil physics (3d ed.,): New York, John Wiley and Sons, 398 p.
- GRIM, R. E., 1953
Clay mineralogy: New York, McGraw-Hill Book Co., 384 p.
- KILMER, V. J., and ALEXANDER, L. T., 1949
Methods of making mechanical analyses of soils: Soil Sci., v.68, p.22.
- KRAVITZ, J. H., 1966
Using and ultrasonic disruptor as an aid to wet sieving: Jour.Sed.Petrology, v.36 No. 3, p.811-812.
- KRUMBEIN, W. C., 1934
Size frequency distributions of sediments: Jour.Sed.Petrology, v.4, p.65-77.
- KRUMBEIN, W. C., and PETTIJOHN, F. J., 1938
Manual of sedimentary petrography: New York, D.Appleton-Century Co., 549 p.
- LANE, E. W., and OTHERS, 1947
Report of the subcommittee on sediment terminology: Amer. Geophys. Union Trans., v.28, no.6, p.936-938.
- MOSTEN, R. P., and JOHNSON, A. I., 1964
Ultrasonic dispersion of samples of sedimentary deposits, in Geological Survey research 1964: U.S. Geol. Survey Prof.Paper 501-C, p. 159-161.
- RAINWATER, F. H., and THATCHER, L. L., 1959
Methods for collection and analysis of water samples: U.S.Geol.Survey Water-Supply Paper 1954, 301 p.
- RITTER, J. R., and HELLEY, E. J., 1968
An optical method for determining particle sizes of coarse sediment: U.S. Geol. Survey open-file report, 43 p.
- ROBINSON, G. W., 1922
Notes on the mechanical analysis of humus soils: Jour.Agr.Sci., v.12, p.287-291.
- ROUSE, H., 1938
Fluid mechanics for hydraulic engineers: New York, McGraw-Hill Book Co., 422 p.

UDDEN, J. A., 1898

Mechanical composition of wind deposits: Augustana Library Publications, no. 1, p.6.

WHITE, W. F., and LINDHOLM, C. F., 1950

Water resources investigation relating to the Schuylkill River Restoration Project: Penn. Dept. Forests and Waters, p. 18.

WOLMAN, M.G., 1954

A method of sampling coarse river-bed material: Amer. Geophys. Union, Trans., v.35, no. 6, p. 951-956.

U. S. INTER-AGENCY COMMITTEE ON WATER RESOURCES, SUB-COMMITTEE ON SEDIMENTATION, 1941

Methods of Analyzing Sediment Samples, Report 4 of A Study of Methods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 204 p.

_____1943

A Study of New Methods for Size Analysis of Suspended Sediment Samples, Report 7 of A Study of Methods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 102 p.

_____1953

Accuracy of Sediment Size Analyses made by the Bottom-withdrawal-tube Method, Report 10 of A Study of Methods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 115 p.

_____1957a

The Development and Calibration of the Visual-accumulation Tube, Report 11 of A Study of Methods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 109 p.

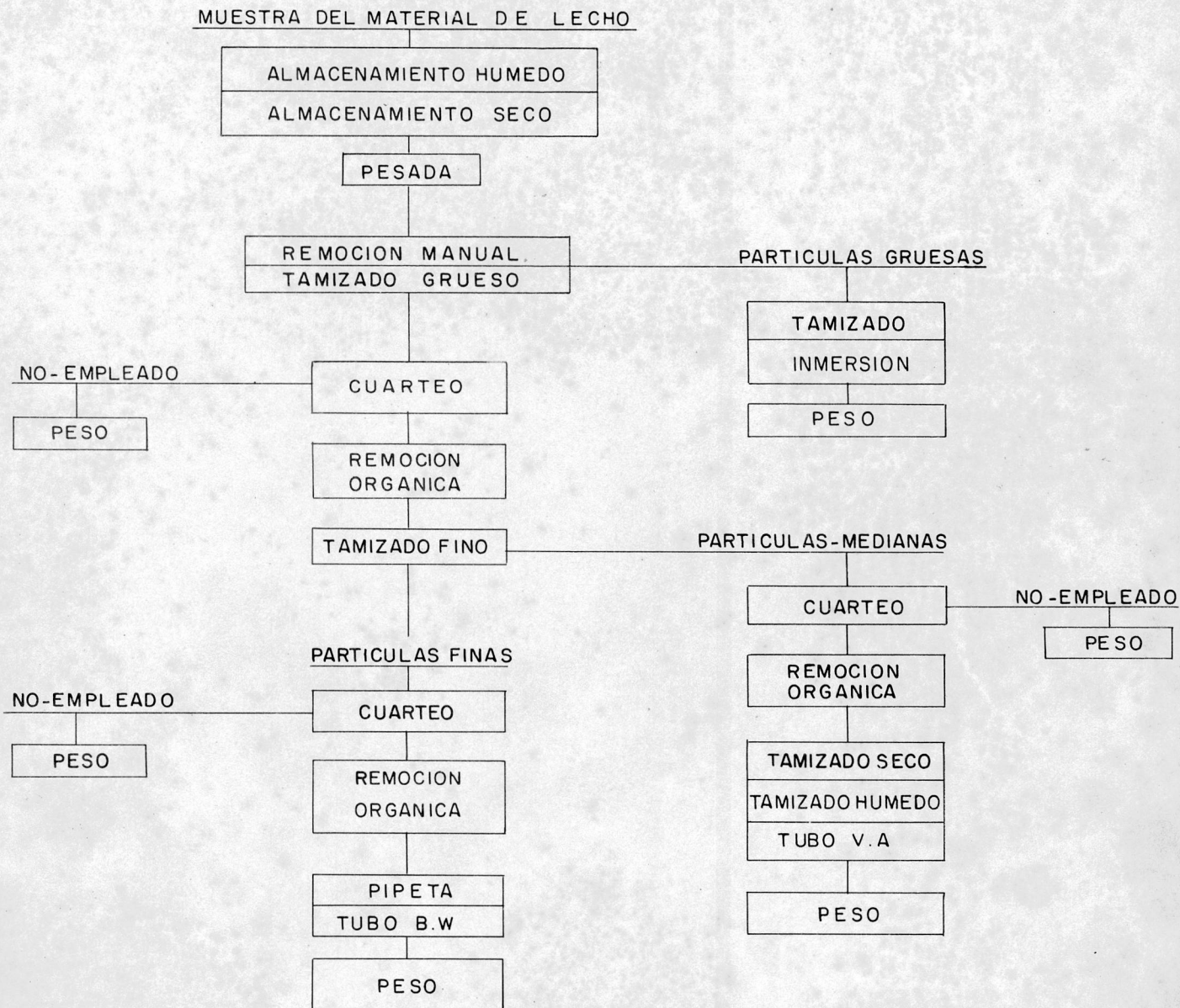
_____1957b

Some Fundamentals of Particle-size Analysis, Report 12 of A Study of Methods Used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 55 p.

_____1958

Operators Manual on the Visual-accumulation-tube Method for Sedimentation Analysis of Sands, Report K of A Study of Methods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams: 28 p.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ANALISIS DEL MATERIAL DE LECHO



EXPLICACION

Diagrama de flujo para el análisis del tamaño de las partículas en las muestras del material de lecho.- Los bloques divididos por líneas horizontales señalan procedimientos alternos. Algunos bloques pueden ser excluidos dependiendo de la cantidad, la condición y la gradación del tamaño de la muestra y los objetivos del uso de los datos. Por ejemplo, si el material orgánico no está generalmente presente en cantidades significantes. También hay poca necesidad de determinar la cantidad de las porciones de cuarteo si la calidad de la operación de cuarteo, se asume que es buena.-

