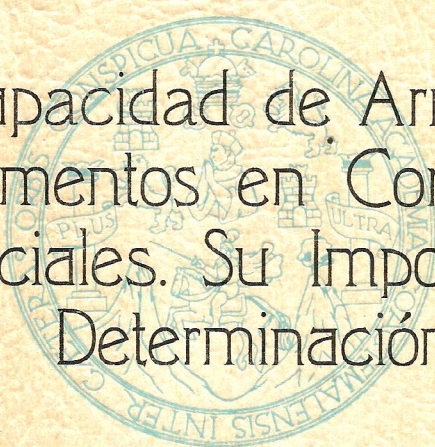


MATEO MORALES Y MORALES



La Capacidad de Arrastre de
Sedimentos en Corrientes
Superficiales. Su Importancia y
Determinación

Guatemala, Noviembre de 1973.

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGA'
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Centro América

**LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS EN
CORRIENTES SUPERFICIALES. SU IMPORTANCIA Y
DETERMINACION**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

por

MATEO MORALES Y MORALES

Al conferírsele el título de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Noviembre de 1973

D2
08
T(279)C

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

**LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS EN
CORRIENTES SUPERFICIALES. SU IMPORTANCIA Y
DETERMINACION**

tema que me fuera asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano: Ing. Hugo Quan Má
Vocal Primero: Ing. Marco Tulio Samayoa B.
Vocal Segundo: Ing. Rodolfo González M.
Vocal Tercero: Ing. Leonel Aguilar
Vocal Cuarto: Br. Jaime Klussman Figueroa
Vocal Quinto: Br. Edgar de León Maldonado
Secretario: Ing. José Luis Terrón C.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano: Ing. Hugo Quan Má
Examinador: Ing. Jorge Arias Deblois
Examinador: Ing. Luis García Martínez
Examinador: Ing. Barry Johnston Giorgis
Secretario: Ing. José Luis Terrón C.

DEDICO ESTA TESIS

A la memoria de mi padre:

Dr. Francisco Javier Morales Urrutia

A mi madre:

Carmen Morales v. de Morales

A mi esposa:

Rosa Elvira Cancino de Morales

A mis hijos:

Luz María
Carlos Emilio
Jorge Ernesto

A mis hermanos:

Francisco Javier
Carlos Alberto
Juan José
Manuel Augusto
Carmen
María Eugenia

A la memoria de mi tío:

Juan Elías Morales Guzmán

A mis compañeros y amigos

A la Facultad de Ingeniería

INDICE

- I Consideraciones Generales
 - II Técnicas de Medición de Sedimentos
 - III Medición de Sedimentos en **Suspensión**
 - IV Medición de Sedimento de Fondo
 - V Cálculo de Transporte de Sedimento por Fórmulas
 - VI Estado Actual de la Observación de Sedimentos en Guatemala
 - VII Conclusiones
 - VIII Recomendaciones
- APENDICE: Ejemplo de Cálculo de Sedimentos en **Suspensión**

RECONOCIMIENTO:

Al Ingeniero Orlandino Arteaga Toledo por su asesoría en el presente trabajo

AGRADECIMIENTO:

A la señora Olga Cruz de Morales por su valiosa colaboración en el trabajo de mecanografía para esta tesis, y a todas aquellas personas que en una u otra forma contribuyeron a su realización.

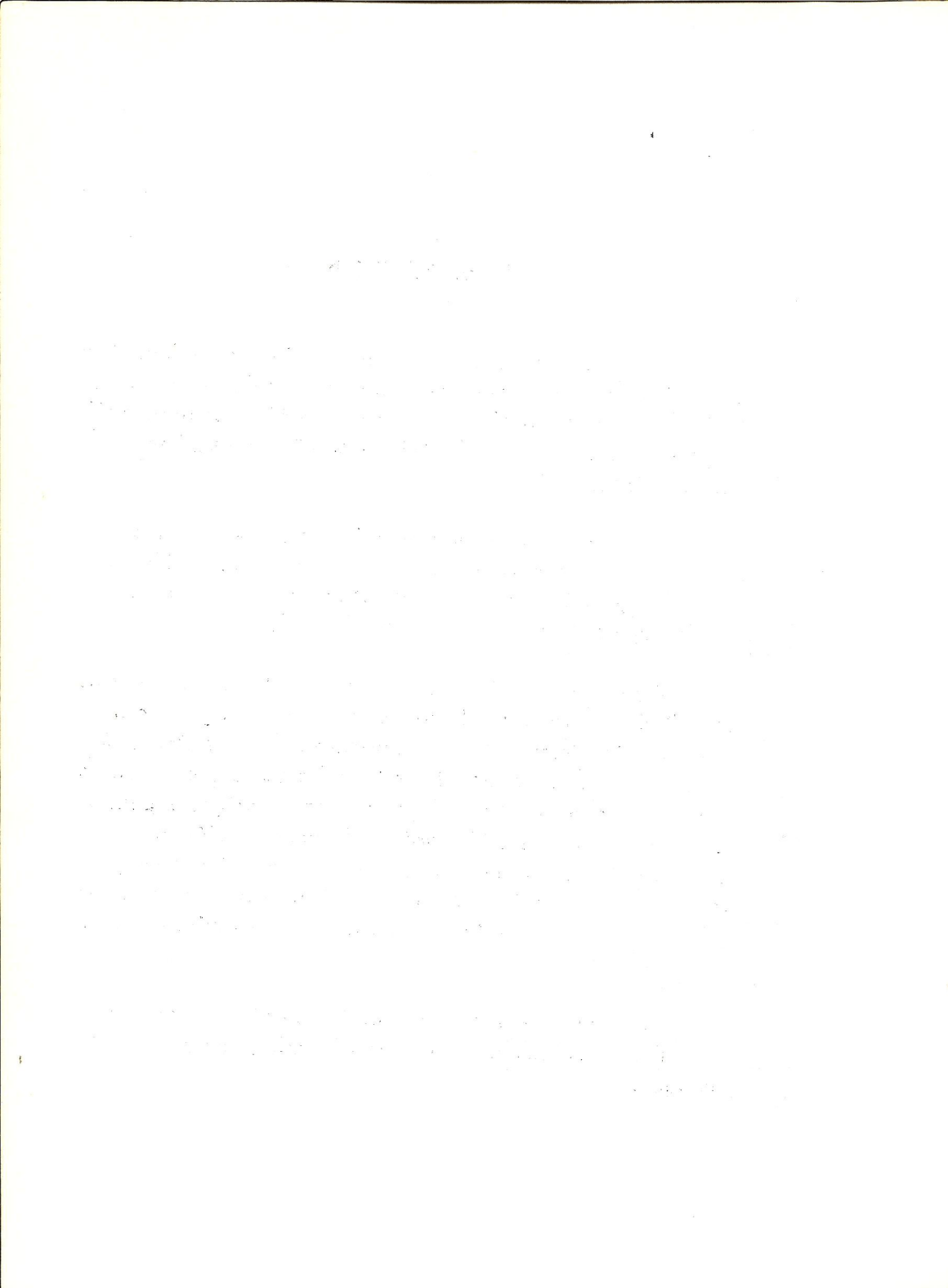
INTRODUCCION

Esta tesis tiene como principal objetivo el de facilitar una guía para la determinación del arrastre del sedimento en las corrientes superficiales por medio de muestreo, análisis de laboratorio y cálculo del transporte de sedimento o caudal sólido.

Para tal fin se hizo una recopilación seleccionada de los libros y publicaciones que estudian el tema, habiéndolos analizado y extractado de ellos los puntos que se consideran de importancia para el desarrollo de la tesis.

Cabe decir, que después de visitar todas las librerías acreditadas de la Capital, no fue posible conseguir en ninguna un solo ejemplar que mencionara el sedimento, habiendo empleado para hacer este trabajo libros de pertenencia particular de mi Asesor y de profesionales amigos especializados en la rama de Hidrología, así como también obtenidos de la biblioteca del INDE. Se menciona esto solo para hacer ver la necesidad actual y local de esta tesis, que no lleva las pretensiones de un estudio, sino se limita a una pequeña guía.

Para complementar, se desarrolla un ejemplo con datos reales obtenidos de la estación Morales, sobre el Río Motagua.



I CONSIDERACIONES GENERALES

El control de las corrientes superficiales, y el hecho de que cada día se proyectan más y mayores obras hidráulicas en las que la capacidad de almacenamiento juega un papel de primordial importancia, hace imprescindible considerar el cálculo del sedimento como parte integral en la fase de diseño de estructuras de todo tamaño.

1.1 El Fenómeno

La erosión, transporte, y deposición de sedimento son procesos naturales, los cuales han ocurrido a lo largo de tiempos geológicos.

1.1.1 Erosión

La erosión se define como el desgaste continuo de la superficie del terreno. Agentes de erosión son el agua, el aire, el hielo y la gravedad. La extensión de erosión y, consecuentemente, la cantidad de sedimento que se mueve sobre una cuenca varía grandemente de una área a otra, dependiendo de sus condiciones geológicas, climáticas, físicas, vegetativas y otras. Las actividades humanas, como la explotación de minas, excavaciones para edificios, construcción de carreteras, etc. tienen una importancia local.

1.1.1.1 Erosión por Acción del Agua

El agua es el agente más común de erosión, siendo el principal en el desgaste químico de las rocas. La precipitación separa las partículas superficiales por el impacto de las gotas de lluvia, y la escorrentía transporta estas partículas a puntos de deposición.

La erosión causada por el agua puede clasificarse en dos tipos generales que son: a) capa de erosión, que corresponde al desprendimiento del material de la superficie de la tierra por el impacto de las gotas y su subsecuente remoción por precanalización o flujo sobre la tierra; y, b) canal de erosión, que es la remoción y transporte del material, dependiendo de la energía ejercida por el flujo concentrado del agua siendo la producción de erosión función de las características hidráulicas del flujo y la inherente erodibilidad de los materiales del canal. Ejemplos de esta clase de erosión son: las orillas y el lecho de crecientes de los ríos y las quebradas.

1.1.1.2 Erosión por Acción del Viento

El viento es un agente importante en la erosión, particularmente en zonas áridas y semi-áridas. La proporción de erosión producida por el viento está influenciada por muchos factores, tales como la velocidad del viento, el contenido de humedad del suelo, el tamaño de las partículas, la rugosidad de la superficie, la cobertura vegetal y otros. Los materiales de grano fino, como el polvo y las cenizas volcánicas, pueden ser transportados en suspensión por cientos de kilómetros por las corrientes de aire. Los materiales gruesos viajan mucho más bajo y en cortas distancias. Gravas finas pueden ser transportadas unos pocos metros, arena

fina usualmente más de un kilómetro, y arena muy fina varios kilómetros. Las arenas acarreadas por el viento son fácilmente identificables en el campo porque sus granos son bien redondeados y muestran una superficie mate con picaduras.

El material erosionado por el viento es una fuente importante de sedimento solamente cuando es depositado en corrientes superficiales, donde puede ser arrastrado y transportado por el flujo concentrado de agua. Localmente, puede representar una porción considerable de la carga total de sedimento. Generalmente representa solamente una fuente pequeña de sedimento.

*** En nuestro medio este tipo de erosión es poco significativa dadas las características de nuestra orografía y clima. Sin embargo, se presenta en la región oriental, La Fragua, Jutiapa, etc. donde en los meses de diciembre a marzo se presentan vientos fuertes.

1.1.1.3 Erosión por Acción de la Gravedad

La erosión producida por acción de la gravedad ocurre cuando las fuerzas del peso propio del material exceden a las fuerzas de resistencia que proporcionan la fricción y fuerza de corte del material. Ejemplos de este tipo de erosión son los derrumbes de las montañas y de las riberas de los ríos, movimientos de taludes y corrientes de lodo. El agua como agente erosivo puede contribuir a la erosión por gravedad por remoción de material al pie del talud o disminución de la resistencia cohesiva del material al aumentar su contenido de humedad. La erosión por gravedad puede

constituir la fuente principal de sedimento entregado a la corriente, cuando las masas del material son colocadas en puntos donde pueden ser atacadas por el agua, particularmente por correntadas.

*** Como ejemplo puede citarse el caso del Río Chixoy, donde se producen asentamientos de taludes que caen directamente al cauce del río. Esto se debe a que las características de geología calcárea de la zona hacen muy deleznable estos taludes por ataque del agua a la base del talud que lo hace caer por gravedad al lecho del río.

1.1.1.4 Efectos de las Actividades Humanas sobre la Erosión

Las actividades humanas tales como la alteración de la cobertura vegetal en terrenos de cultivo, excavaciones para edificios, lotificaciones, canteras de grava, minas y botaderos de escoria, construcciones de carreteras, aserraderos, etc., pueden causar serios disturbios de las condiciones naturales, exponer materiales a serias erosiones y proveer una fuente importante de sedimento.

*** En Guatemala es muy frecuente la alteración de la cobertura vegetal en terrenos de cultivo, ocasionada por las quemas, o rozas para la limpia y también en la siembra de cultivos limpios en laderas.

*** El Río Cahabón en nuestro medio, normalmente un río limpio en todo tiempo por provenir de una región con geología Kárstica y tener gran contribución de agua subterránea, debido a las recientes explotaciones mineras y a la construcción de la carretera Salamá-Cobán, ha recibido una carga de sedimento de origen arti-

cial y en gran cantidad, que ha cambiado sustancialmente su condición natural.

1.1.2 Transporte de Sedimento

El transporte de sedimento es ejecutado por tres procesos diferentes, los cuales pueden ocurrir individualmente o en combinación. Además, una porción del material es movido intermitentemente primero por un proceso y luego por otro. Consecuentemente, la observación precisa del transporte total bajo condiciones naturales por técnicas de muestreo es virtualmente imposible. Para obtener medidas aproximadas correctas se requieren por lo menos una combinación de dos tipos diferentes de observación.

Los métodos de transporte de sedimento son generalmente clasificados de acuerdo con la correspondiente definición de sedimento.

1.1.2.1 Definiciones

Las definiciones recomendadas por la Section Hydrology American Geophysical Union son las siguientes:

"Sedimento es el material fragmentario transportado por suspensión, o depositado por agua o aire, o acumulado en camas por otros agentes naturales. Ordinariamente se excluye el hielo y la materia orgánica flotante".

Sedimento de Fondo: Este término se usa para designar:

- a) Material grueso compuesto por partículas de tamaño apreciable que se mueven sobre o cerca del fondo.
- b) Material reunido o estimado de muestras coleccionadas en una trampa de muestras de fondo.

Sedimento de Salto: Es el material que se mueve dentro del flujo dando brincos o saltos a lo largo del lecho, o es movido directa o indirectamente por el impacto de partículas saltantes.

Sedimento en Suspensión: Es el material acarreado por deslizamiento a alguna distancia del fondo. Las partículas de este material son soportadas por la componente hacia arriba de la velocidad de turbulencia y son conducidas dando tumbos hacia adelante, por la velocidad del fluido. Dependiendo del diámetro de las partículas éstas pueden llegar a tomar la misma velocidad y dirección de las líneas de flujo de la corriente.

Sedimento Lavable: Es el material compuesto de partículas finas, las cuales se encuentran en pequeñas cantidades, relativamente, sobre el fondo. Estas son llevadas enteramente en suspensión y su magnitud depende primordialmente de la cantidad de material fino disponible en la corriente y no está determinado ni por la velocidad, ni por la profundidad.

1.1.2.2 Métodos de Transporte de Sedimento

Como se dijo anteriormente, estos se clasifican de acuerdo a las definiciones de sedimento. Generalmente hablando, las partículas más pequeñas son transportadas en sus

pensión, mientras que los granos grandes se mueven en contacto con el fondo por fuerzas de tracción. La tercera clase de movimiento, salto, es difícil de distinguir de la suspensión, aunque las partículas así transportadas son generalmente más grandes que las partículas en suspensión y más pequeñas que las de fondo. Sin embargo, como también las partículas suspendidas rebotan contra el fondo con una frecuencia proporcional a sus masas, la diferencia entre partículas en suspensión y de salto es difícil de distinguir. De acuerdo a recientes estudios, las partículas de salto tienen poca importancia en Hidrología porque la cantidad de material movido de esta forma es relativamente pequeña.

En la mayoría de las corrientes, el sedimento es transportado concurrentemente por dos o los tres métodos. Las partículas mayores se mueven en contacto con el lecho a lo largo de la corriente. Dentro de una pequeña capa inmediatamente arriba del fondo, los materiales son relativamente gruesos y su concentración es relativamente alta, y son transportados ya sea en suspensión o por salto, o ambos. Arriba de ésta y extendiéndose hacia la superficie del agua hay una capa en la cual la concentración decrece con la altura, los granos son relativamente finos y el material es conducido en suspensión.

1.1.3 Deposición de Sedimento

La distribución de sedimento en un embalse depende de varios factores relacionados entre sí, entre los cuales figuran la naturaleza del sedimento, relación entre afluente y efluente, tamaño del embalse y operación del mismo.

Las fuerzas que actúan sobre una partícula de sedimento que es conducida por el flujo de la corriente al embalse, están formadas por la componente horizontal de la fuerza del agua que actúa sobre la partícula en la dirección de la corriente, y la componente vertical correspondiente a la fuerza de gravedad. La turbulencia del flujo hace que aparezcan fuerzas hacia arriba, las cuales pueden ser iguales o mayores que la fuerza de gravedad, y mientras se mantenga esta condición, la partícula se mantiene en suspensión y es arrastrada por la corriente. A la entrada del embalse, hay un aumento de área de la sección transversal y perímetro mojado, disminuyendo la velocidad y turbulencia de la corriente. En embalses grandes estas fuerzas se disipan y se vuelven ineficaces como medio de transporte. Las partículas se van asentando en el fondo y se dice entonces que se depositan.

Existen evidencias que indican que en algunos embalses el afluyente de sedimentos vertidos sobre la entrada del embalse, mantienen su identidad y transportan las partículas finas la longitud completa del embalse hasta la presa. Cuando ocurre esto, el flujo sigue aparentemente la línea de máxima pendiente, o del canal de alimentación. Por causa de este fenómeno, un gran porcentaje de partículas finas son acarreadas más adentro del embalse.

Cuando la carga de entrada de sedimento contiene cantidades apreciables de materiales de grano grueso, o material de grano fino coagulado, la máxima deposición se presenta en el área río arriba del embalse, donde disminuye la capacidad de transporte de la corriente. Las gravas y las arenas se depositan primero, depositándose progresivamente el material fino al ir disminuyendo la capacidad de trans-

porte por el efecto de amortiguamiento.

Las arcillas y los coloides que permanecen en suspensión por largos períodos de tiempo, son arrastrados grandes distancias dentro del embalse. Cuando el tiempo de retención no es suficiente para que se deposite completamente el material, una porción de sedimento de grano fino será acarreada afuera del embalse por el efluente. Si la carga de entrada de sedimento consiste principalmente de material de grano fino altamente disperso, la deposición máxima ocurre en el tramo inferior del embalse.

Donde la deposición máxima inicial se forma en las áreas río arriba, los depósitos avanzan dentro del embalse desarenador conforme transcurre el tiempo. Las pendientes excesivas favorecen este proceso. En estas circunstancias, la corriente del afluente erosiona el material previamente depositado por etapas en las que el nivel del agua ha sido más alto y lo transporta a las partes bajas del desarenador. La distribución de los depósitos dentro del embalse desarenador puede ser aumentado posteriormente por contribución de cuencas tributarias aguas abajo, en las que la deposición inicial sea en las áreas río arriba.

1.1.4 El Problema

Como ejemplo clásico describiremos en forma simple el complejo fenómeno de la sedimentación en un embalse creado por la construcción de una presa sobre un curso natural de agua.

Al construir la presa sobre el cauce de un río, cambian

las características hidráulicas del flujo y la capacidad de transporte de sedimento de la corriente.

1.1.4.1 Relación entre Sedimentación y las Funciones del Embalse. Pérdida de Almacenamiento y Servicios

Las presas se construyen con fines de retener agua almacenada o mantener un nivel estático de agua. Ejemplos de embalses son los que se diseñan para almacenar agua con propósitos de irrigación, abastecimiento de agua y las hidroeléctricas. En ellos se acumula el agua durante períodos de abastecimiento abundante, para usarla cuando la demanda excede al abastecimiento natural. Se diseñan también para el control de crecidas, recargas de agua subterránea y otros propósitos donde el almacenamiento es de naturaleza más temporal, y las velocidades del efluente son reguladas para proveer aguas abajo, velocidades de descarga de acuerdo con los objetivos del proyecto.

El mantenimiento de la capacidad de almacenamiento en los embalses es de vital importancia para su propio funcionamiento. La pérdida de espacio para almacenamiento debido al sedimento, afectan directamente los servicios que dependen de él, pues reducen la capacidad útil del embalse.

Para evitar esto, debe proveerse un espacio suficiente para acumulación de sedimento, o medios adecuados para reducir el aporte de sedimento, o su remoción. Por ejemplo, si se determina en la evaluación de un proyecto que el embalse debe funcionar con eficiencia total durante un período dado de tiempo, el espacio de almacenamiento debe es-

tar provisto en la capacidad total del embalse para balancear la pérdida de espacio debido a la sedimentación durante el mismo período.

La importancia del problema radica en la rapidez de sedimentación y el período de tiempo que tendrá que transcurrir antes de que la utilidad del embalse sea seriamente perjudicada o destruida. Consecuentemente, en el diseño de presas, el Ingeniero debe estar alerta para anticiparse a la extensión de los cambios que puedan ocurrir fuera del área del embalse, tanto como sea posible, para protegerla contra asolvamiento rápido.

1.2 Capacidad de Arrastre de Sedimento

La descarga total de sedimentos, o capacidad de arrastre de sedimentos de una corriente, se define como el promedio de la cantidad de sedimentos que pasan por una sección de la corriente por unidad de tiempo. El material que viene transportado, se denomina "la carga" de la corriente.

1.2.1 Clases de Carga

a) De acuerdo al método de transporte de sedimento, la carga puede ser: "carga de fondo" y "carga de suspensión". La distancia entre las dos es indefinida y el material que en un momento dado es carga de fondo, en otro momento puede ser carga suspendida, y posteriormente puede volver a intercambiarse. Esta es una de las principales dificultades en la medición de sedimentos de fondo; pues de las condiciones de velocidad de la corriente depende en

mucho que la cantidad de sedimentos en suspensión sea proveniente de sedimentos del fondo o no.

b) De acuerdo al tamaño relativo de las partículas, la carga se clasifica como: "material de fondo" y "material lavable".

c) Tomando en consideración la técnica empleada para la medida de la descarga de sedimentos. Esta tiene el defecto que debido al tamaño físico de las muestras, usadas para medir concentraciones, es imposible medir la carga de fondo y la suspendida muy cerca del fondo. Al producto de la concentración, determinado de esta manera y el caudal se le llama medida de la descarga de sedimentos de la corriente.

La carga de sedimento en suspensión comprende la mayor parte de la carga total en la mayoría de las corrientes y, por lo tanto, es la más importante en la sedimentación de los embalses. El material grueso es generalmente de gran importancia en la formación de bancos, lechos, islas, meandros y, en cierto grado del cambio de curso en ríos de valle amplio con cauces divagantes.

El gasto sólido se compone del sedimento en sus-pensión, del arrastre por el fondo o acarreo y del sedimento de lavado. La división entre los tres grupos debe buscarse entre las partículas cuyo diámetro varía entre 0.06 - 2 mm. y depende fundamentalmente de la pendiente y del grado de turbulencia del curso pluvial. Para algunos problemas interesa conocer la carga total del sedimento, por ejemplo cuándo se trata de definir la vida útil de un embalse y su gradual reducción de capacidad de almacenamiento. En otros

casos cuando se trata de definir la pendiente mínima de un canal para evitar que se decante el sedimento en suspensión o cuando se trata de dimensionar algún desarenador, - puede interesar conocer separadamente ambos componentes. Por tales motivos es necesario conocer el origen, la cantidad y las variaciones del sedimento.

1.3 Fuentes de Sedimento

Entre las principales fuentes del sedimento pluvial debe mencionarse a las siguientes:

1. Erosión Superficial que tiene su origen en el escurrimiento causado por la precipitación sobre áreas agrícolas, montañosas, zonas boscosas y sitios rasos. Esta erosión superficial se define por los técnicos en conservación de suelos como la remoción de una delgada capa de suelo sin dar origen a zanjas o canales.
2. Socavación de canales en el suelo o en conformaciones geológicas no consolidadas debido a escurrimientos concentrados.
3. Erosión de los lechos pluviales, sea de los bancos laterales o del fondo.
4. Desplazamientos macizos del suelo, como su deslizamiento o asentamientos.
5. Erosiones que se deben a barridas de grandes sectores planos causadas por avenidas extraordinarias de agua.

6. Erosiones incidentes debidas a grandes desarrollos estructurales como construcciones de carreteras, líneas férreas, líneas de alta tensión, roces para preparar el campo para proyectos de edificaciones privadas o industriales.
7. Desperdicios de fábricas, industrias o minas.

De todos ellos, los 3 primeros contribuyen cuantitativamente en la mayor escala a la presencia de sedimentos en los ríos.

1.4 Variación de la Producción del Sedimento

La variación de la producción del sedimento depende de los siguientes factores:

1. Tamaño de la cuenca de drenaje.
2. Cambios ecológicos de la cuenca.
3. Características climáticas, como su intensidad y duración de las precipitaciones, superficie cubierta, heladas, vientos, etc.
4. Variación y monto de la escorrentía superficial que a su vez depende de la geología, del tipo de suelo, de la pendiente y de la naturaleza de la capa vegetal.
5. Facilidad de erosionarse de los suelos y de las formaciones geológicas expuestas.

6. Densidad del drenaje y eficiencia hidráulica del sistema de drenaje.
7. Densidad de la capa vegetal y formas de explotación de los suelos.

No se han podido todavía establecer relaciones analíticas más o menos confiables que ponderen estos factores.

1.5 Métodos Destinados a Controlar la Producción de Sedimentos

El control de sedimentos puede abordarse en dos formas: Una se refiere al manejo del sedimento cuando éste constituye un problema y la otra tiene que ver con la reducción de la producción del sedimento proveniente de una determinada cuenca. Se trata aquí este último aspecto.

Existen dos métodos para controlar la producción de sedimento. Uno consiste en evitar la erosión o impedir la entrada de las partículas de sedimento a terrenos con ciertas pendientes o a los caminos de drenaje más cortos. El otro se refiere a la disminución de la aceleración del movimiento y acondicionamiento para mejorar la capacidad de almacenamiento en varios puntos de la cuenca.

El medio más efectivo para impedir la erosión superficial consiste en proteger las tierras mediante una capa vegetal permanente que tenga la mayor extensión posible. Numerosos ensayos han demostrado la efectividad de densas zonas boscosas y plantaciones de arbustos y pastos destinados a reducir el efecto del impacto de las gotas de lluvia.

via y del viento sobre la superficie del suelo. Una capa de esta índole disminuye la escorrentía superficial directa e incrementa la infiltración después de un temporal. Además, impide la formación de grietas y zanjas que no sólo contribuyen a crear nuevas fuentes de sedimento sino también a dar origen a vías de traslado de las partículas de sedimento ya desprendidas. Un buen ejemplo de este procedimiento lo constituye la protección de los taludes de las nuevas carreteras mediante empedrados o capas vegetales. Numerosas experiencias realizadas en parcelas y pequeñas cuencas han demostrado que para iguales condiciones climatológicas, iguales suelos y pendientes e idénticas zonas cubiertas de cultivo de maíz, algodón y tabaco se pueden suponer la producción de una misma erosión a la cual se asignará un índice 100%. En caso que las mismas cuencas tengan cultivos de vegetales que den pequeños granos como son: trigo, cebada o avena, la erosión relativa baja a un 15 - 40%; en cultivos anuales alineados según contornos o curvas de nivel bien definidas dan lugar a una erosión relativa no superior al 50% con una rotación de 3-4 veces por año bajando a un 14-15%.

Los efectos benéficos de la cubierta vegetal son principalmente los siguientes:

- a. Disminución de la energía de lluvia, disminuyendo el efecto del impacto.
- b. Intercepción directa de la precipitación por las partes aéreas de las plantas.
- c. Reducción en la pérdida de la humedad del suelo por evaporación, ligando el suelo contra la erosión.

- d. Creación y manutención de una capa con un alto contenido orgánico, desarrollando una estructura de suelo más abierta que aumenta la infiltración como la capacidad de almacenamiento del suelo.
- e. Mantiene el agua repartida sobre la superficie de la tierra, lo que retarda el escurrimiento, que a su vez permite más tiempo para su absorción.
- f. Reducción de la velocidad superficial de esorrentía, que disminuye la energía cinética y la capacidad erosiva del agua.
- g. Disminución del viento sobre la superficie, lo que reduce la erosión por este medio.

II TECNICAS DE MEDICION DE SEDIMENTOS

La carga total de sedimentos está compuesta por la descarga de fondo y la descarga de sedimento en suspensión. Durante los últimos 25 años se han desarrollado instrumentos y técnicas que han dado resultado satisfactorio en la medida del sedimento en suspensión; sin embargo, para el caso de carga de fondo aún no se ha podido desarrollar ni el equipo ni la técnica adecuados.

Existen varios métodos analíticos para el cálculo de la descarga de sedimentos. Algunos de ellos calculan la carga total y otros solo la carga de fondo. En cualquiera de éstos, debe conocerse la granulometría del material de fondo y es provechoso también tener información sobre otros parámetros hidráulicos de la corriente. Las muestras de material de fondo es posible sacarlas con el equipo existente, el cual da buenos resultados.

Un buen programa para la medida de sedimentos debe contar con equipo de laboratorio para determinar: a) la concentración de sedimento en suspensión; b) la granulometría; c) determinación de la densidad del sedimento depositado.

Se describirá el equipo y las técnicas usadas para la medida de la descarga de sedimentos en suspensión, la carga de fondo y el muestreo para el material de fondo. Antes de entrar en materia, es necesario definir algunos términos,

los cuales son los siguientes:

II.1 Definiciones

Muestra de Sedimento en Suspensión: Es una cantidad de la mezcla agua-sedimento que representa la concentración promedio o la distribución del tamaño promedio del se dimento en suspensión.

Muestra Instantánea del Sedimento en Suspensión: Es una muestra tomada instantáneamente en un punto fijo de la sección transversal del río.

Muestra Integral de Sedimento: Es una muestra de sedimento en suspensión tomada en una sola vertical de la sección transversal con un muestreador que sube verticalmente a una velocidad constante y representa la muestra promedio para la profundidad entre la superficie del agua y cerca de 0.3 pies encima del lecho de la corriente.

Muestra Puntual: Es la muestra de sedimento en suspensión tomada entre períodos de tiempo relativamente cortos en un punto fijo de la sección transversal del río.

Muestreo Vertical Diario: Es una vertical seleccionada en la sección transversal en la cual se toman las muestras individuales de sedimento en suspensión. Estas consisten de una sola muestra o un número de muestras tomadas al día. Para cada muestra son suficientes dos botellas de la mezcla agua-sedimento.

Concentración de Sedimento en Suspensión: Es la relación entre el peso de sólido seco en una mezcla agua-sedi

mento y el volumen de la mezcla. Esta relación se expresa en "gramos por litro" (gr/l).

Descarga de Sedimento en Suspensión: Es la cantidad de sedimento transportado en suspensión que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.

Carga de Fondo: Es el material que se mueve continuamente en contacto con el lecho de la corriente. El material es empujado o rodado a lo largo del fondo por la fuerza del agua.

Descarga de Fondo: Es el peso de la carga de fondo que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.

Material de Fondo: Es el sedimento depositado que forma el lecho de la corriente.

Descarga Total de Sedimento, o Carga Total de Sedimento: Es la suma de la descarga de sedimento en suspensión y la descarga de fondo.

Análisis Granulométrico: Es el proceso para la determinación de distribución de tamaño de las partículas en una muestra de sedimento.

11.2 Selección de las Secciones Transversales para la Medición del Sedimento

La recolección de datos de transporte de sedimento debe hacerse en puntos seleccionados colocados estratégica-

mente en las corrientes superficiales; este requisito lo llenan las estaciones hidrométricas.

11.2.1 Estaciones Hidrométricas

Estas se clasifican según su importancia y objetivo en:

- a) Estaciones de primer orden
- b) Estaciones de segundo orden
- c) Estaciones para fines de estudio
- d) Estaciones en estudio

Las mediciones de sedimento se hacen en las de primer orden, las que deben estar dotadas sin excepción, de un instrumento registrador de los niveles, y de un sistema que permita la ejecución de aforos durante las crecidas. - Generalmente están ubicadas en los ríos más importantes y sus mediciones son de alta confiabilidad. La calificación de primer orden depende fundamentalmente de la categoría del río.

11.2.1.1 Estaciones de Primer Orden

Se clasifican como estaciones de primer orden, las siguientes:

- a) Estación que mide el total de un río importante (antes de su desembocadura)

- b) Estaciones ubicadas en los afluentes principales de los ríos antes mencionados
- c) Estaciones que tengan un mínimo de cinco años de registros de alta confiabilidad
- d) Estaciones a la entrada o salida de un lago o embalse de importancia
- e) Estaciones en ríos fronterizos
- f) Estaciones en lagos principales (en este caso, evidentemente, no existen las estaciones de aforo) naturales o artificiales.

11.2.1.2 Selección de Estaciones

Para la selección de las estaciones deben distinguirse los siguientes casos:

- a) Estaciones de medición de caudales, de primer y segundo orden
- b) Estaciones que solo miden el nivel
- c) Estaciones en que solo se afora esporádicamente.

En el caso (a) se cuenta con una sección de aforos y una sección de medidas de nivel, las que pueden ser coincidentes. En los dos casos restantes solo existe una de las dos secciones.

II.2.1.3 Programa de Trabajo para la Medición de Sedimentos

La medición del sedimento debe hacerse paralelamente a los aforos, para poder comparar el gasto líquido con el gasto sólido que pasa por la sección. La naturaleza de los programas de medición cambia de acuerdo al régimen del río y los requerimientos específicos de la medida. Los trabajos, además de las medidas hidrométricas, son los siguientes:

- a) Medida del sedimento en suspensión
- b) Medida de la carga de fondo
- c) Colección de datos del material de fondo
- d) Trabajo de laboratorio de sedimento

Los estudios e investigaciones de la medida de sedimento proveen información sobre la cantidad y la índole del sedimento transportado por las corrientes superficiales. La información obtenida sirve de base para estudios de deformación del cauce de los ríos, erosión y deposición y, en el planeamiento y diseño de proyectos de recursos hidráulicos.

III MEDICION DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION

La carga del sedimento en suspensión, es el sedimento que es soportado por las componentes verticales de la velocidad en las corrientes. Las muestras de sedimento en suspensión se sacan para determinar su descarga y la distribución del tamaño de las partículas cuando se considera necesario.

Hay muchos métodos e instrumentos para determinar la concentración de sedimentos en suspensión, siendo el uso de muestreadores el más común; éstos se pueden clasificar en grupos, de los que se describirán los más importantes que son:

III.1 Muestreadores de Sedimento en Suspensión

III.1.1 Muestreadores Instantáneos Verticales

Los muestreadores del tipo de trampa vertical son numerosos y su empleo ha sido extenso en trabajos de medida de sedimento. El principio de operación es similar para la mayoría de ellos.

El muestreador consiste de un disco o pistón superior, un tubo cilíndrico cortador y un disco inferior. Para sacar la muestra, se hace bajar el tubo hasta el disco inferior y

la muestra queda atrapada entre los dos discos. El cilindro es activado por un mecanismo de resorte que es controlado por un peso que cuelga del cable de suspensión.

Este muestreador ha sido rediseñado dándole forma hidrodinámica con cámaras muestreadoras múltiples. Un ejemplo de este tipo es el muestreador Eakin (Figura 1).

III.1.2 Muestreadores Instantáneos Horizontales

Consisten de un cilindro horizontal de 3 a 6 pulgadas de diámetro con un mecanismo de cierre en cada extremo diseñado para operar a la altura y el tiempo que se desee. El muestreador es bajado a la altura deseada y se mantiene paralelo a la dirección del flujo, de manera que el agua pueda pasar a través del cilindro. El cierre puede hacerse de dos formas, que son:

- a) Por medio de válvulas instaladas sobre bisagras en cada extremo y operadas por acción de resorte (Figura 2)
- b) Tubería de hule colocada entre secciones del cilindro y operada por la rotación de la sección central; al rotar el cilindro se enrosca la tubería de hule y sella efectivamente el envase de la muestra (Figuras 3A, 3B)

Dependiendo de las condiciones, el mecanismo de cierre puede ser activado por tres métodos diferentes que son: un gatillo accionado por medio de una cuerda, por un peso mensajero, o encendido por un selenoide eléctrico.

III.1.3 Muestreadores de Botella

El instrumento más sencillo para el muestreo de sedimento en suspensión es una botella ordinaria, unida a una varilla o peso hidrométrico (Figura 4).

Para muestreo integral de profundidad se usa la botella abierta, y la cerrada con un corcho se usa para muestreo en puntos predeterminados de la sección. Las botellas pueden estar provistas de boquillas de diferentes tamaños. Estos muestreadores se clasifican como de llenado lento burbujeante, por el tiempo que tardan en llenarse y por las burbujas que forma el escape de aire en la toma de la muestra. Debido principalmente al efecto de burbujeo sobre el efluente, el grado de exactitud es muy bajo.

III.1.4 Muestreador Integrador Puntual

Este es similar al muestreador integrador de profundidad. La diferencia principal es que el muestreador integrador puntual tiene adaptada una válvula de control dentro del conducto de toma y descarga, y una cámara compensadora de presiones dentro del cuerpo del muestreador para igualar la presión del aire dentro del envase y la presión hidrostática en la toma. No habrá invasión de agua con el muestreador abierto o cerrado a cualquier profundidad en la sección transversal. Debido a que la toma y descarga son controladas, este muestreador se puede usar para muestreos a profundidades parciales cuando se considere necesario. Los modelos desarrollados de este tipo de muestreadores son los siguientes:

- a) US P-61 (modelo antiguo US P-46) (Figuras 5A, 5B y 5C) consiste de un cuerpo hidrodinámico de bronce fundido, de 28 pulgadas de longitud y que pesa alrededor de 100 libras, dentro del cual va encerrado el muestreador de botella (envase de una pinta de leche). La válvula de control del muestreador es operada por un solenoide giratorio, cerrando y abriendo la toma y escape de aire; la energía para el solenoide es proporcionada por seis u ocho baterías de seis voltios. Este muestreador puede usarse a profundidades de 150 pies.
- b) US P-63 (Figura 6) tiene 34 pulgadas de longitud y pesa 200 libras. Su forma, mecanismo y operación son idénticas al US P-61. Pueden usarse envases de una pinta y un cuarto de litro. Este muestreador tiene la cámara de compresión adecuada para operar a profundidades de 180 pies.
- c) US P-50, tiene 44 pulgadas de largo y pesa alrededor de 300 libras. Es similar a los anteriores, usa un envase de un cuarto de litro, es el indicado para corrientes grandes con altas velocidades y apropiado para muestreos a profundidades de 200 pies. Por su peso, requiere de cable resistente, carrete y grúa.

III.1.5 Muestreador Integrador de Profundidad

Se denominan muestreadores integradores de tiempo a aquellos que toman muestras durante un período largo de tiempo para obtener la concentración promedio momentánea de sedimento en cualquier punto. Si uno de estos muestreadores se mueve verticalmente en la corriente, para inte

gar la concentración sobre un muestreo vertical, entonces se le denomina muestreador integrador de profundidad; generalmente estos muestreadores no tienen mecanismo para controlar la apertura de la boquilla y el proceso de muestreo principia al sumergir el muestreador y termina al sacarlo del agua. Hay muchos modelos de este tipo, la mayoría de los cuales están basados en los mismos principios. Los más frecuentemente usados son:

- a) US DH-48 (Figura 7) es operado a mano y se usa cuando se trabaja muestreos por vadeo. Tiene 13 pulgadas de largo y pesa 4 ó 5 libras.
- b) US D-49 (Figuras 8A y 8B), tiene 24 pulgadas de largo y su peso es de 62 libras. Consiste en un modelo hidrodinámico dentro del cual va encerrada la botella muestreadora. Está provisto con tres boquillas de $1/4$, $3/16$ y $1/8$ de pulgada de diámetro respectivamente. En la cabeza del muestreador hay un agujero para darle salida al aire encerrado dentro de la botella al hacer el muestreo. Estos muestreadores no son recomendables para profundidades mayores de 20 pies.

III.1.6 Botella Delft (Figura 9)

Consiste de una pequeña bocanoma con boquillas removibles de 1,55 cm. y 2,2 cm. de diámetro, una cámara relativamente grande para asentamiento del sedimento, un apéndice o pieza de cola para orientar el muestreador dentro de la corriente, y un marco para colgar el muestreador. El paso del agua es directamente desde la bocanoma hasta la cámara de asentamiento, donde se reduce la velocidad y se

le por el tubo trasero. Durante el largo período de detención, el sedimento suspendido se asienta en el fondo de la cámara.

Para determinar la concentración de sedimento suspendido, es necesario conocer la velocidad de la corriente, el tiempo para tomar el muestreo y la cantidad de material reunido en el punto de muestreo.

Para la medida correcta de sedimento, debe conocerse el tamaño menor de las partículas que pueden pasar a través de la cámara, para lo cual, el muestreador debe estar calibrado para las dos boquillas.

El uso de este muestreador es aconsejable para corrientes de suficiente profundidad donde predominen los materiales gruesos.

III.1.7 Muestreador Teórico Funcional

Todos los muestreadores mencionados tienen el inconveniente de que su introducción en la corriente altera la velocidad y dirección de las líneas de flujo y por lo tanto falsean el carácter natural de la muestra; de manera que, el muestreador teórico funcional, sería aquel que pudiera extraer las muestras, sin perturbar las líneas de flujo.

III.2 Técnicas de Medición del Sedimento en Suspensión

Se describirán únicamente las operaciones de campo para los muestreadores US D-49 y US DH-48, por ser los tí

pos más recomendables para un muestreo continuo y sistemático y por ser los utilizados en Guatemala.

Para la medida del sedimento en suspensión se utilizan generalmente las mismas instalaciones usadas para aforar. La medición de este sedimento requiere un conocimiento completo de las condiciones de escurrimiento del río, y por lo tanto es necesario que las medidas de caudal líquido y caudal sólido se lleven paralelamente. En general se procederá como sigue:

Muestreo con US D-49

- a) Se afora en forma habitual. Para mediciones de precisión se recomienda utilizar el método de aforo por puntos.
- b) Al terminar el aforo se toman la lectura limnimétrica y la temperatura del agua. (La temperatura del agua influye considerablemente en la capacidad de arrastre de sedimento, al alterar las condiciones de densidad y viscosidad del agua y sedimento).
- c) El número de verticales usadas para el muestreo de sedimentos debe ser el mismo que para el aforo, o en verticales alternas a las del aforo en los ríos de sección uniforme y anchos. Dependiendo del rango de variación de la concentración a lo largo de la sección transversal, el número de verticales puede reducirse en cauces anchos y de sección uniforme.
- d) Se tomarán paralelamente una a dos muestras, por vertical, de aproximadamente $\frac{1}{2}$ litro.

- e) Normalmente no es necesario repetir la medición del perfil transversal, excepto en los casos en que la medición se efectúe en crecidas o con variaciones muy fuertes de la lectura limnimétrica. En tales casos se tomarán dos perfiles, uno a la iniciación y otro al término de la medición. La técnica para corregir el muestreo por variación de la altura limnimétrica es similar a la descrita en el mismo caso para aforos con molinete.
- f) En cada vertical el muestreador debe hacerse bajar y subir con una velocidad constante.
- g) Antes de iniciar el aforo se elige el tipo de boquilla, de modo que la velocidad de entrada del agua sea lo más semejante posible a la velocidad media de la vertical que se mide.

Se acepta, en medidas corrientes y en condiciones normales, el uso de un solo tipo de boquilla para todo el proceso. Se recomienda, sin embargo, determinar el tamaño exacto de la boquilla con el auxilio del gráfico de la figura 10 y según la mayor o menor turbidez ocasionada por el sedimento en suspensión.

- h) El tiempo de descenso y ascenso del muestreador debe ser tal que no permita el llenado completo de la botella. Por otro lado, si la velocidad es muy grande la botella recoge una muestra muy pequeña. Se exige una muestra que llene al menos la mitad del frasco o los $3/4$ del volumen.

La determinación del tiempo de ascenso y descenso debe hacerse previamente con auxilio del gráfico 10 que corresponde al muestreador. Con el conocimiento de

las características de la sección es posible elaborar una tabla o gráfico.

- i) Una vez subido el muestreador, se saca la botella, se cierra, y se anota su número en el formulario.
- j) Deben desecharse las muestras en los casos en que la botella se llene totalmente o su contenido sea menor de 0,25 litros. Estas botellas no pueden volverse a usar y deben lavarse cuidadosamente con agua limpia.
- k) El número de la botella debe estar pintado en forma indeleble en el cuerpo y la tapa.
- l) Para el transporte de las botellas deben usarse cajas cerradas.
- m) Terminado el muestreo se envían las botellas al laboratorio para su análisis. En el caso de que la operación se haga en el terreno deberá cumplirse con las normas respectivas.
- n) Al iniciar y terminarse la medición, se tomará una muestra (muestra puntual) en un punto fijo (en general se usa una muestra superficial en el centro del río).
- o) Al terminar la medición se toma nuevamente la temperatura del agua. Esta operación debe hacerse incluso en los casos en que el limnógrafo posea termógrafo acoplado, ya que esta medida se usa para calibrar el termógrafo.

El tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis

de laboratorio no es tan severo como en otros tipos de análisis, puesto que lo que se pretende es determinar la concentración y no la composición química de la muestra. Podrán transcurrir hasta 30 días entre la toma y el análisis.

Muestreo por Vadeo (US DH-48)

La operación con el US DH-48 es en todo similar, excepto que se opera vadeando.

Para la medición en condiciones normales, se recomiendan las frecuencias siguientes:

Muestreos: Míñimo, uno al mes. Hasta que se forme la curva de descarga de sedimento, se recomienda muestrear cada vez que se afore. Se procurará obtener muestras a diferentes alturas o caudales, poniendo especial atención en los muestreos de crecidas. Son necesarios 10 puntos como míñimo tomados.

Muestra puntual: Una al día, más dos con cada muestreo. En crecidas debe aumentarse el número de muestras a dos diarias.

III.3 Análisis de Laboratorio

El objetivo de los análisis de laboratorio es determinar la concentración en mg/litro de las muestras tomadas. En este párrafo se describirá brevemente la metodología del análisis.

III.3.1 Filtrado

Normalmente se prefiere el transporte de las muestras hasta un laboratorio que atienda varias estaciones de control.

III.3.1.1 Equipo de Laboratorio (Fig. 11)

- a) Embudo tipo "Bückner" de porcelana, con fondo perforado.
- b) Papel filtro. Debe utilizarse papel filtro calibrado, es decir, papel cuyas cenizas tengan un peso fijo garantizado (pueden usarse también filtros pequeños de fibra de vidrio, en los cuales no es necesaria la calcinación. Sin embargo, con ese método no se pueden usar los residuos para el análisis granulométrico descrito más adelante).
- c) Frasco de dos bocas: en una (A) se introduce el extremo del embudo. La boca (B) se ocupa para producir un vacío que ayuda al filtrado. Al extremo (C) de la manguera de succión se conecta una bomba de vacío.

La más sencilla es la llamada trompa de agua que produce el vacío mediante un estrechamiento en una corriente de agua, tal como se indica en la figura. Se obtienen mejores resultados con una bomba de vacío de laboratorio, pero no siempre es fácil disponer de ellas.

III.3.1.2 Operatoria de Filtrado

a) Se mide el volumen del líquido de la muestra. Para evitar un doble trasvasijamiento conviene calibrar los frascos de medición. La medición en ese caso se hace en la forma indicada en la figura 12.

b) Se vacía el contenido del frasco en el filtro. Para no perforar el papel conviene deslizar el líquido sobre una varilla de vidrio.

c) Se limpia perfectamente el frasco con agua destilada, la que también se vacía al filtro.

d) Terminado el filtrado se saca el filtro con pinzas y se dobla en la forma indicada en la figura 13.

e) Este filtro se pone a secar en un plato colocado sobre una estufa eléctrica. Debe cuidarse que no se mezclen los filtros.

f) Se guardan los filtros secos en sobres herméticos, cuidándose especialmente que no se pierda sedimento en la operación. Para ello se recomienda, envasar los filtros cuando aún están ligeramente húmedos. En cada sobre se debe registrar:

Muestra N^o _____

Número de filtros usados _____ (se anota si se usan dos o más filtros)

Volumen de la muestra _____ etcétera.

III.3.2 Pesado de la Muestra

Para ello debe recurrirse a un laboratorio dotado con horno de calcinación y balanza analítica. Las operaciones a seguir son:

- a) Secado de la muestra
- b) Calcinación a unos 1.100°C
- c) Pesado de la muestra

Al peso obtenido, que generalmente es de unos cuantos miligramos, debe descontarse el peso de las cenizas de los filtros. Normalmente ese peso (del orden de las décimas de miligramo) es despreciable.

Los resultados se registran en la forma indicada en el cuadro. (Fig. 14)

El método descrito elimina los sedimentos de origen cálcico. De ahí que si el porcentaje de calcio en los sedimentos es muy alto, no conviene usar este método y debe recurrirse a los filtros de fibra de vidrio ya indicados.

La determinación de la pérdida por calcinación es muy sencilla, ya que se procede simplemente a pesar una muestra antes y después de ser calcinada en el horno "mufla".

III.4 Determinación de la Concentración del Sedimento en Suspensión

III.4.1 Cálculo del Caudal Líquido

El procedimiento del aforo se sale de los lineamientos de esta tesis, sin embargo, como el caudal líquido es indispensable para la determinación del sedimento, se procederá a explicar el cálculo del aforo.

III.4.2 Cálculo del Aforo (Fig. 15)

Los datos que se obtienen con el aforo son: distancia y profundidad de la vertical donde se hizo la lectura; profundidad del molinete, número de revoluciones y los tiempos en dos pruebas con el mismo número. Estos datos se trasladan a la hoja de cálculo y se procede a calcular de la manera siguiente:

$$a) \text{ Tiempo promedio} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_i}{i}$$

$$\text{o sea: columna 9} = \frac{\text{columna 5} + \text{columna 6}}{2}$$

en el ejemplo que adelante se calcula,

- b) Velocidad media en la vertical (columna 11); para esto es conveniente contar con la tabla del molinete respectivo con que se hizo el aforo, donde vienen dadas las diferentes velocidades correspondientes al número de revoluciones y tiempo promedio; si no se tiene, se

calculan con la fórmula:

$$V = C_1 N + C_2 \text{ para } N < 1.2$$

$$V = C_1' N + C_2 \text{ para } N > 1.2$$

$$N = \frac{\text{No. revoluciones}}{\text{tiempo}}$$

C_1 y C_2 son constantes que dependen del molinete

V = velocidad.

- c) Velocidad media en la vertical, (columna 12), ésta no es otra cosa más que el promedio de la columna 11.
- d) Promedio de la velocidad con la vertical, (columna 13), éste corresponde al promedio entre cada dos valores de la columna 12.
- e) Ancho, (columna 14) se refiere a la distancia entre cada vertical, o sea la diferencia entre cada valor correlativo de la columna 1.
- f) Profundidad media (columna 15) es la semisuma de dos profundidades correlativas de la columna 2.
- g) Area (columna 16) se obtiene del producto del ancho por la profundidad media, o sea columna 14 multiplicada por columna 16.
- h) Gastos parciales (columna 17), se obtienen de la multiplicación del promedio de velocidad con la vertical y el área, o sea, columna 13 multiplicada por columna 16.

- i) Area total es igual a suma de áreas parciales, o sea sumatoria de la columna 16.
- j) Gasto total que pasa por la sección, se obtiene de la sumatoria de los gastos parciales, o sea la sumatoria - de la columna 17.
- k) Velocidad media, se obtiene de la división del gasto total entre el área total de la sección.

$$\text{col } 17 \div \text{col } 16.$$

Del cálculo del aforo van a servir los gastos parciales y el gasto total para el cálculo del caudal sólido del sedimento.

III.4.3 Cálculo del Gasto Sólido

Al hacer el muestreo de sedimento en suspensión se obtienen los siguientes datos: (Fig. 16)

- a) Distancia horizontal relativa a una margen del río, - donde se hizo el muestreo;
- b) Profundidad total del muestreador;
- c) Identificación del envase del muestreador.

III.4.4 Cálculo de la Concentración de Sedimento en Suspensión

En el laboratorio se determinan el volumen de la mues

tra, peso del crisol, peso del crisol más sedimento. Estos datos se anotan en el cuadro de registros, en las columnas 3, 4, 5, y 6 respectivamente. (Fig. 14)

El peso del sedimento se determina restándole al peso del crisol más sedimento, el peso del crisol, o sea, columna 6 menos columna 5.

Para determinar la concentración parcial en cada muestra, basta con dividir el peso del sedimento entre el volumen de la muestra y nos da un valor en gramos/litro, multiplicando este valor por mil nos queda miligramos/litro en la columna 8.

En la columna 9 correspondiente a observaciones, es conveniente anotar la distancia horizontal del punto de muestreo.

III.4.5 Cálculo del Gasto Sólido de Sedimento en Suspensión (Fig. 17)

Con los datos obtenidos del aforo y el muestreo, se tienen los elementos necesarios para el cálculo del gasto sólido.

- a) La columna 1, del cuadro de registro para gasto sólido, correspondiente a la distancia de los puntos de aforo medida desde la orilla; se llena con los datos de campo sacados al hacer el aforo. (Columna 1 registro de aforo).
- b) La columna 2, que corresponde al gasto parcial, se lle

na con los gastos parciales obtenidos del aforo (columna 17 cuadro de registro de aforo).

- c) La columna 3, no es más que la división de los gastos parciales entre el gasto total obtenido en el aforo, o dicho de otro modo, es el porcentaje del gasto que ocurre entre la orilla y la vertical considerada.
- d) La columna 4, coeficiente de la vertical, se calcula como el promedio entre dos valores consecutivos del porcentaje de gasto, o sea, promedio de valores consecutivos de la columna 3.
- e) La columna 5, concentración de la vertical, se llena con los datos obtenidos del análisis del laboratorio, columna 8 de registro de laboratorio.
- f) La columna 6, concentración media en cada vertical, - o sea, concentración media parcial, se calcula multiplicando el coeficiente de la vertical por su concentración, es decir, columna 5 por columna 4.
- g) Concentración media total, es la suma de todos los parciales, o sea, sumatoria de la columna 6.
- h) Gasto líquido total, es la suma de los gastos parciales, o sea, la sumatoria de la columna 1.
- i) Gasto sólido total, se calcula multiplicando la concentración media total por el gasto líquido total.

El cálculo descrito corresponde al caso en que muestreo de sedimento y sondeo de aforo, coincidan en una mis

ma vertical.

Para el caso en que las verticales de muestreo no coincidan con las de sondeo, se procede de la manera siguiente: (Fig. 18)

- a) La columna 1, corresponde a la distancia de la vertical de muestreo a la margen del río, se llena con los datos de campo.
- b) La columna 2, identifica el número del frasco en que se guardó la muestra, se llena con datos de campo.
- c) La columna 3, es la correspondiente al peso determinado en el laboratorio para la muestra, se llena con los datos de la columna 7 del formulario de registro de la concentración.
- d) La columna 4, corresponde a la concentración parcial de cada muestra, se llena con los datos de la columna 8 del registro de laboratorio.
- e) La columna 5, corresponde a la concentración parcial media, o sea, el promedio de los valores de la columna 4.
- f) La columna 6, indica el porcentaje en longitud correspondiente a la vertical de muestreo considerada; su valor se determina dividiendo la distancia de la vertical a la orilla, entre el ancho total de la sección del río, o sea, columna 1 entre L (X/L).
- g) La columna 7, corresponde al porcentaje del gasto que

escurre entre la orilla y la vertical considerada y se calcula dividiendo el gasto correspondiente a la vertical entre el gasto total de la sección.

- h) La columna 8, indica el promedio de los valores (X/L), o sea, el promedio de valores consecutivos de la columna 6, para $X = 0$ $X/L = 0$ y para $X = L$ $X/L = 1$, o sea, en las orillas.
- i) La columna 9, incrementos del porcentaje de gasto, son los porcentajes del caudal correspondiente a cada vertical; estos incrementos se calculan sacando la diferencia entre los valores sucesivos del porcentaje de gasto de la columna 7.
- j) La columna 10, corresponde a la concentración media para cada vertical y se determina multiplicando la columna 5 por la columna 9.
- k) La concentración media de la sección la da la suma de la concentración media parcial según (j), o sea, es la sumatoria de la columna 10.
- l) El gasto total líquido fue determinado previamente con el aforo.
- m) El gasto sólido se calcula multiplicando la concentración media de la sección (k) por el gasto total líquido (l), ésto nos da el resultado en mg./seg., para tenerlo en Ton/día, se multiplica por la constante = 0.0864.

III.5 Granulometría del Sedimento en Suspensión

La determinación de la distribución de tamaños del se dimento en suspensión es bastante difícil, siendo recomen- dables los métodos siguientes:

III.5.1 Tamizado Húmedo

Para ello se procede a hacer pasar por una serie de ta mices una muestra de 200 litros de agua.

Se recomienda utilizar las siguientes mallas ASTM:

400

200

100

50

La operatoria es sencilla, usándose en general agua - del mismo punto en que se toma la muestra puntual.

Una vez pasados los 200 litros de agua por los tamices se cierran y se envían al laboratorio. Los resultados se ano tan en un gráfico logarítmico de probabilidades (figura 19). El método no permite dar muchos detalles acerca de la dis tribución del sedimento fino; pero en general no se requie re mucha información al respecto. El tamaño medio del se dimento puede determinarse por extrapolación al gráfico de la figura

Se recomienda este método en condiciones normales dada su sencillez y facilidad de trabajo. Además como uti

liza una muestra muy grande los errores de operatoria son muy bajos, contrarrestando los producidos por el asimilar un punto al total del río, o a la ausencia de información sobre el río.

III.5.2 Métodos Hidrométricos

Estos métodos están basados en la determinación de la velocidad de caída de las partículas finas. El más conocido es el método del tubo granulométrico de extracción por el fondo, o "Botton with drawal tube".

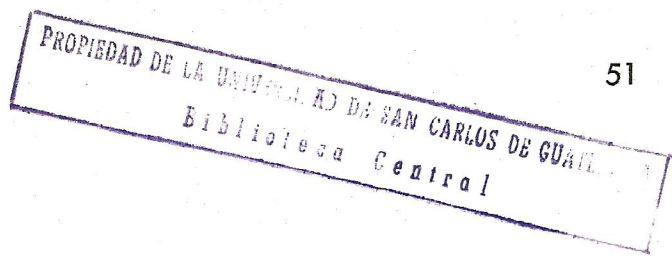
III.5.3 Análisis de los Residuos del Filtrado

Este método solo puede usarse en los casos en que el filtro se calcina, constituyendo una buena razón para preferir la calcinación del filtro al método del filtro calibrado descrito anteriormente.

Se ha demostrado que muestras de 0.5 gramos pueden usarse adecuadamente para análisis mecánico de los residuos de filtrado.

Para ello se acumulan en un solo recipiente los residuos del filtrado, los que se someten a tamizado una vez que la muestra es suficientemente grande.

Sea cual fuere el método empleado, se recomienda llevar un control de la granulometría, como el indicado en el formulario (Fig. 20).



VER FIG. 20

Los residuos del proceso por los métodos (III.5.1) y (III.5.2) deben ser sometidos a un análisis petrográfico, que es de gran importancia en los estudios del origen geológico del sedimento.

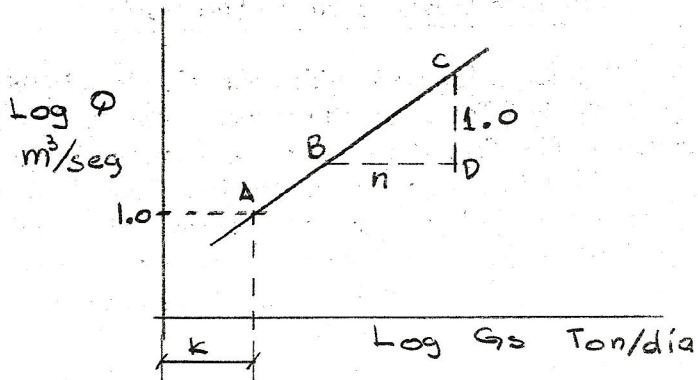
III.6 Curva de Gasto Sólido en Suspensión

Con los valores obtenidos para Caudal Líquido (Q), - gasto sólido (G_s), se forma un cuadro con la siguiente información: Río, Estación, Área de la Cuenca, Fecha del Muestreo, Caudal Líquido, Concentración, Caudal Sólido y Temperatura, que a la vez que sirve como registro de los datos apuntados, reúne la información necesaria y suficiente para el trazo de la curva de gasto sólido, para lo cual se procede de la manera siguiente:

- a) Usando papel logarítmico, se plotean como ordenadas los gastos líquidos y como abscisas los sólidos correspondientes. Esto nos da una serie de puntos dispersos.
- b) Es conveniente al hacer este ploteo, considerar los que

corresponden a cada época del año hidrológico, diferenciando por medio de un símbolo cada uno de ellos; se recomiendan en nuestro medio los siguientes:

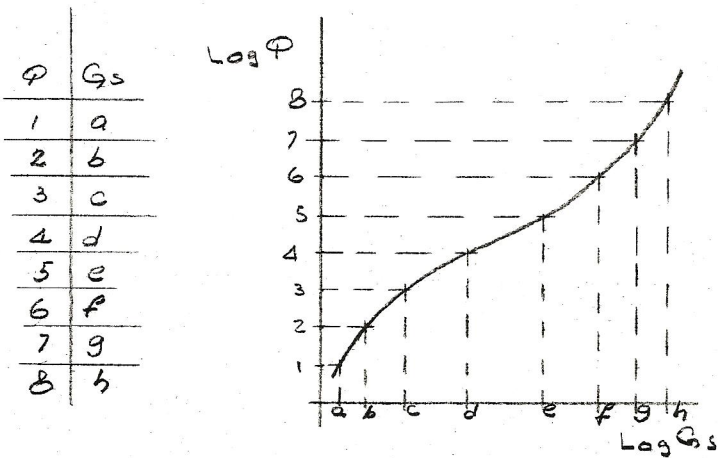
- ⊙ Para meses secos: enero, febrero, marzo y abril
 - △ Para meses de transición: mayo, junio, noviembre y diciembre
 - Para meses de lluvia: julio, agosto, septiembre y octubre.
- c) Se traza la curva de mejor acomodo, la que puede plotearse como recta, o como curva.
- d) Cálculo de la ecuación de la Recta. $G_s = K \cdot Q^n$



El valor absoluto de K es el de la abscisa correspondiente al punto donde la recta corta la ordenada 1, o sea, $K = G_s$ cuando $Q = 1$.

El valor de n se determina gráficamente también, bajando de la recta una vertical igual a la unidad (CD), correspondiéndole a n , la distancia horizontal (DB) medida del pié de dicha vertical hasta la recta.

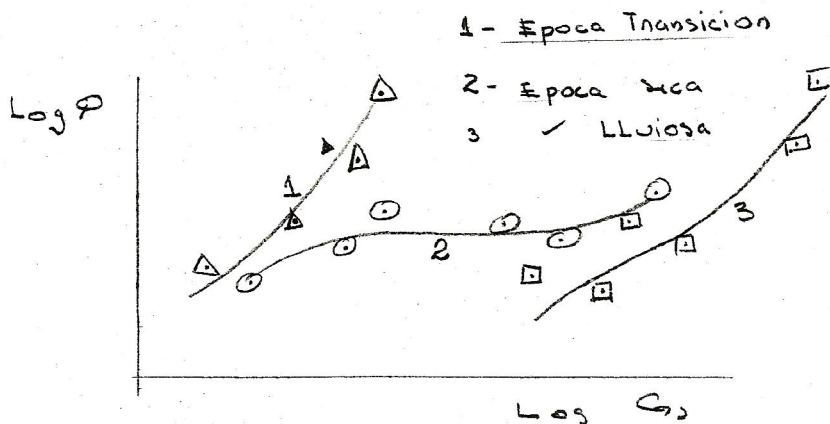
- e) Cuando se plotea como curva, la determinación de la ecuación se complica demasiado, por lo que se acostumbra tabular los valores de las dos variables, dándole valores correlativos a una de ellas y sacando gráficamente el correspondiente valor de la otra.



III.6.2 Curvas de Gasto: Sólido Estacionales

Como se expuso anteriormente, (inciso b) III.6), al plotear los puntos, es conveniente diferenciar por medio de símbolos los muestreos para las diferentes épocas del año hidrológico. Puede suceder que los puntos queden muy dispersos en conjunto pero que analizados por épocas formen curvas parciales que sean evidentemente lógicas. Esto indica que

la descarga de sedimentos en suspensión varía con la época para la estación considerada y adaptar una sola curva para todos los puntos no sería la solución correcta, siendo obligado una curva para cada época. Cada curva tendrá entonces un período de validez dado por los muestreos de la misma.



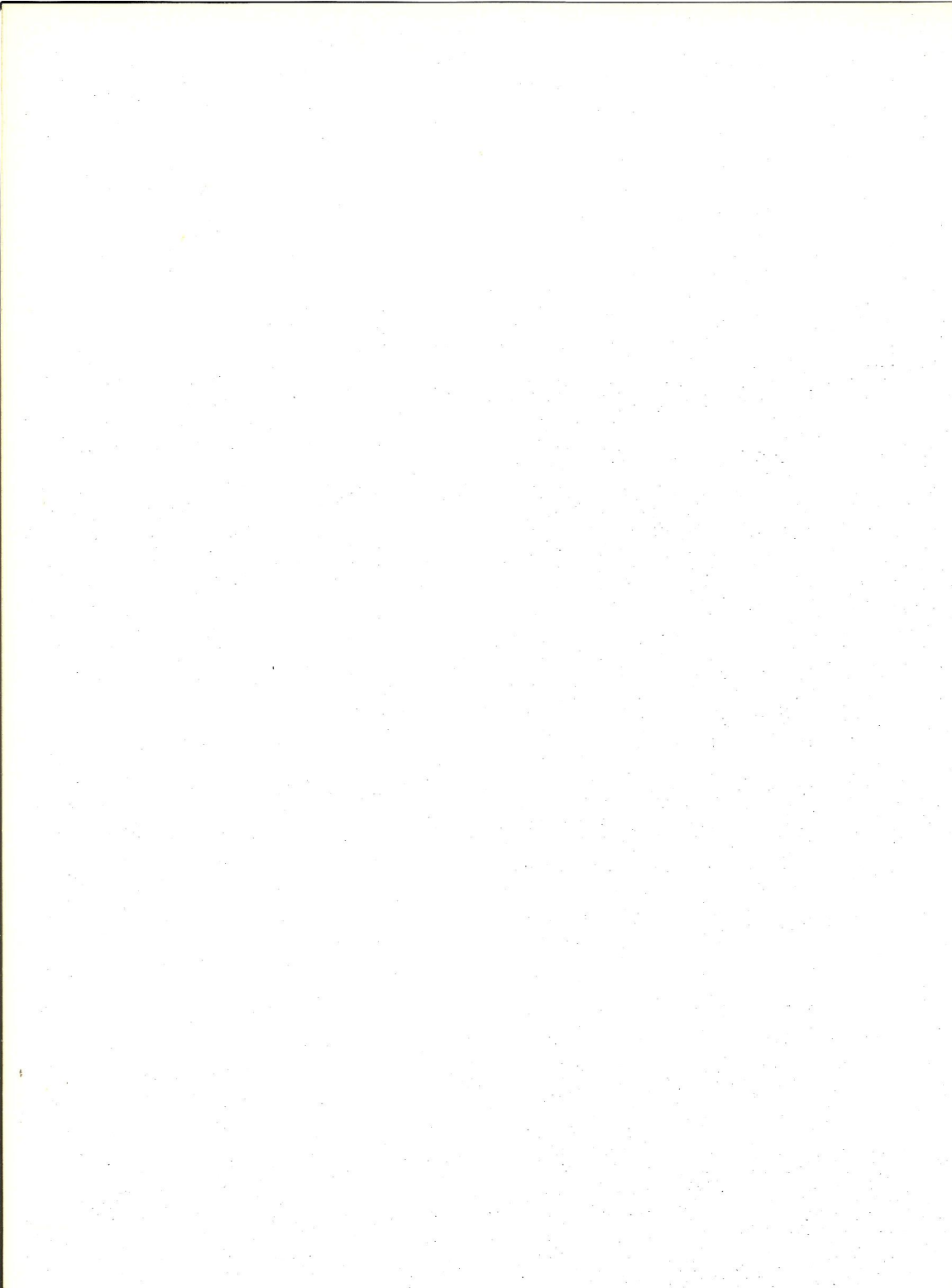
III.7 Elaboración de la Estadística de Sedimentos en Suspensión

Las herramientas que van a servir para la elaboración de las estadísticas son, para el caudal líquido, la ecuación de la curva de calibración de caudales, y para el caudal sólido, la ecuación de la recta de gasto sólido, o bien, las tablas de valores sacadas de las curvas. Como dato indispensable cuenta también la altura del nivel del río anotada diariamente en los registros de limnómetro y limnógrafo. Se procede de la manera siguiente:

- a) En el registro del limnómetro se busca la altura media correspondiente a la fecha considerada.

- b) Con esta altura se calcula por medio de la ecuación de la curva de calibración de caudales $Q = K'(h-h_0)^n$ de la estación de aforo, o bien, gráficamente de la curva, el caudal líquido correspondiente.
- c) Con el caudal líquido, se calcula de la ecuación de recta de gasto sólido, o bien, gráficamente, o de la tabla formada con los valores de la curva, el gasto sólido.
- d) Se tabulan los valores encontrados de la manera siguiente:

VER CUADRO 33



CUADRO 33

M E S												
Día	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Febr.	Marzo	Abr.
1	G ₁	(Ton/día)										
2	G ₂											
3	G ₃											
4	G ₄											
5	G ₅											
6	G ₆											
7	G ₇											
8	G ₈											
9	G ₉											
10	G ₁₀											
11	G ₁₁											
12	G ₁₂											
13	G ₁₃											
14	G ₁₄											
15	G ₁₅											
16	G ₁₆											
17	G ₁₇											
18	G ₁₈											
19	G ₁₉											
20	G ₂₀											
21	G ₂₁											
22	G ₂₂											
23	G ₂₃											
24	G ₂₄											
25	G ₂₅											
26	G ₂₆											
27	G ₂₇											
28	G ₂₈											
29	G ₂₉											
30	G ₃₀											
31	G ₃₁											
Total	G mensual											

$$G \text{ mensual (Ton/mes)} = \sum G \text{ medio diario}$$

$$\sum G \text{ mensual} = G \text{ anual (Ton/año)}$$

Faint, illegible text covering the page, possibly bleed-through from the reverse side.

III.7.1 Valores Extremos

Hay valores que son de suma importancia y que tienen su aplicación en el diseño de obras hidráulicas, siendo entre éstos los de mayor relevancia, los valores máximos y mínimos observados. Para determinarlos basta con examinar detenidamente los registros y observar los valores mayores y menores dentro de ellos, anotando la fecha en que sucedieron y los valores alcanzados, por ejemplo:

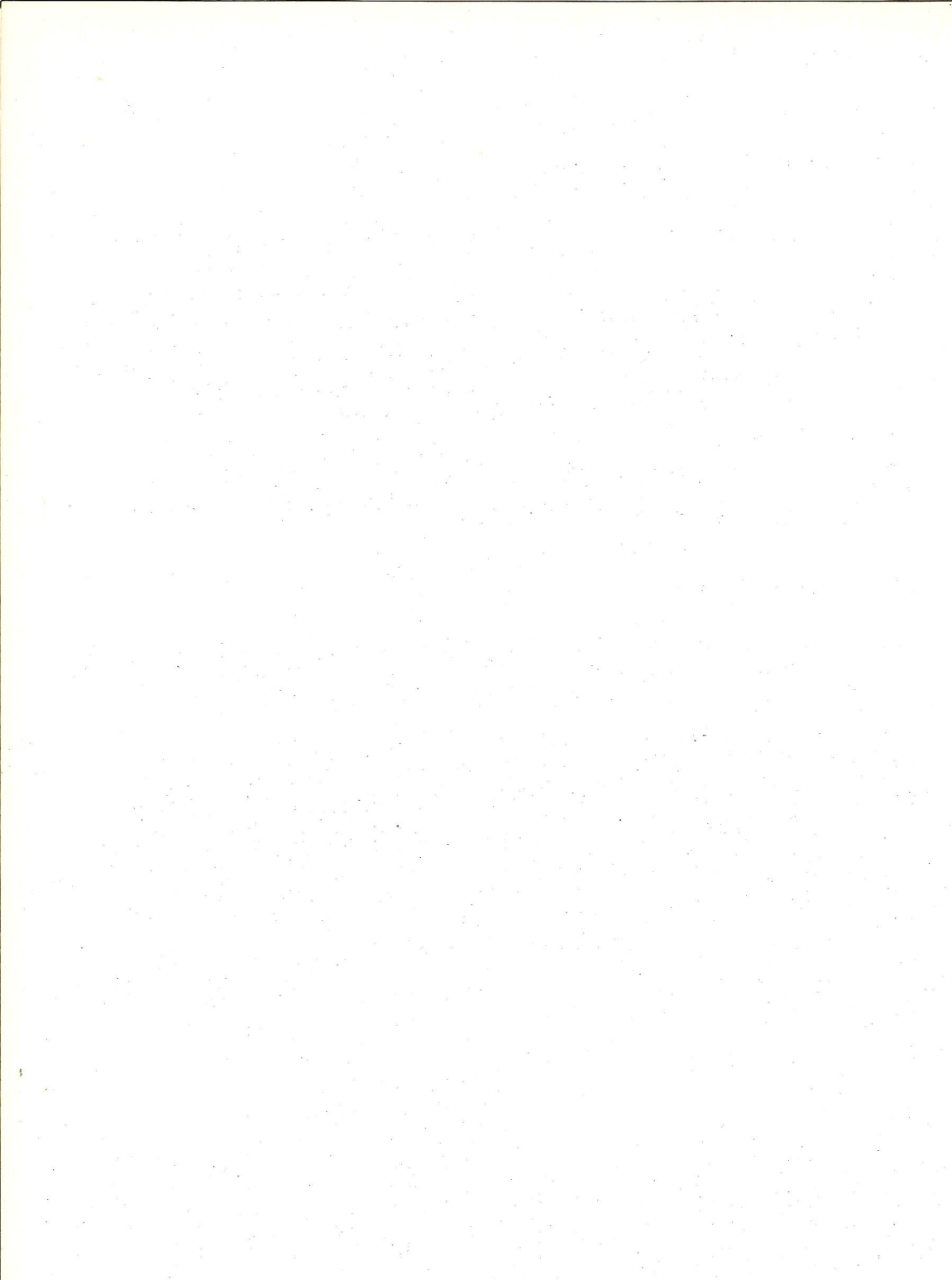
La importancia de los picos máximos estriba en el hecho que los mismos transportan en sí el más alto porcentaje de arrastre.

Valores Extremos - Por Mes

Q mínimo mar. 20 = m³/seg Q máximo mar. 29 = m³/seg
 G mínimo mar. 22 = ton/día G máximo mar. 30 = ton/día

Valores Externos - Anuales

Q mínimo feb. 3 = m³/seg Q máximo sept. 20 = m³/seg
 G mínimo abr. 11 = ton/día G máximo ago. 30 = ton/día



IV MEDICION DE SEDIMENTO DE FONDO

Se ha puntualizado que la descarga total de sedimento de una corriente consiste generalmente de dos componentes principales; la descarga de sedimento en suspensión y la descarga de fondo. La mayoría de los problemas que provienen del sedimento son atribuibles al sedimento en suspensión simplemente porque este constituye generalmente la mayor parte del sedimento total. Sin embargo, en algunos problemas de ingeniería de ríos como en operación de canales, socavación, dragado, etc. es la carga de fondo la que interviene, pudiendo depender muy poco de la carga de suspensión.

La determinación de la descarga de sedimento en suspensión es relativamente fácil con los métodos de medida y equipo modernos. La determinación de la descarga de fondo, —el sedimento que se desliza, rueda o salta a lo largo del lecho del río— es, sin embargo, una tarea mucho más difícil.

Se han ideado muchos métodos para medir la carga de fondo; siendo los más importantes el uso de muestreadores de varias clases, entre ellos, medición acústica, medición volumétrica y el método de contracción. Hay también varios métodos para calcular la descarga total de fondo, pero ninguno de ellos es satisfactorio para todas las condiciones de la corriente. Actualmente están en vías de desarrollo nuevas técnicas y equipo. Algunos de los factores que difi

cultan extremadamente la confiabilidad de la medida de la carga de fondo son:

- a) Cualquier instrumento colocado sobre el fondo de la corriente altera las condiciones naturales, desordenando los patrones de flujo y movimiento de la carga de fondo en su alrededor.
- b) La posición que toma el instrumento medidor sobre el fondo irregular de un canal puede afectar adversamente la exactitud de la medida.
- c) La extrema irregularidad en tiempo y espacio del movimiento de la carga de fondo, aún en condiciones de flujo uniforme, pueden ocasionar variaciones muy grandes entre muestras consecutivas y adyacentes.
- d) La necesidad de calibrar los muestreadores para eficiencia hidráulica y para eficiencia de muestreo puede crear problemas adicionales.

Se describirán solo el equipo y métodos más usuales para medida de la carga de fondo.

IV.1 Equipo para Muestreo para Carga de Fondo

IV.1.1 Muestreadores de Cajón o Gamella (Fig. 21)

Estos muestreadores operan reteniendo la muestra de la carga de fondo en ranuras construidas dentro del muestreador. Ejemplos de este tipo son el muestreador Appollo w

(1927), el muestreador Shamow (1935), el muestreador diseñado por "The Scientific Research Institute of Hidrotechnics" (SRIH, U.S.A.), y el muestreador Polyakoff (figura) que consiste de tres componentes principales que son, una rampa que va colocada en dirección aguas arriba, el cuerpo con su recolector ranurado y la cola. El muestreador está equipado con puertas laterales abisagradas. Los cables elevadores están unidos a estas puertas, de tal manera que al levantar el muestreador del lecho de la corriente, se cierran sobre la sección ranurada, sellando la muestra de fondo que queda atrapada en el colector. Este muestreador no es recomendable para corrientes con velocidades mayores a 2.5 pies/seg.

IV.1.2 Muestreadores de Canasta (Fig 22A y 22B)

Las figuras "A" y "B" muestran dos vistas de un muestreador de canasta típico. Funciona reteniendo la muestra de carga de fondo depositada dentro de una canasta de malla. Los más conocidos son el muestreador Mulhofer (1932), el muestreador Ehrenberger (1932), el muestreador Nesper (1937) y el muestreador de la Swiss Federal Authority (1939). Todos éstos son similares en su diseño y tienen una eficiencia promedio en muestreo menor del 50%.

IV.1.3 Muestreador Arnhem

Este muestreador (figura 23) fue diseñado por la Hydraulic Structures Bureau of the Government of Holland. La unidad consta de una entrada rectangular rígida conectada por una sección de caucho a una canasta esparcidora con malla

de 0.2 - 0.3 mm. La sección esparcidora reduce la presión en el extremo aguas abajo, de manera que las velocidades de entrada tienen muy poca alteración. El muestreador está instalado en una estructura de forma hidrodinámica por medio de cables y resortes, diseñado de manera que cuando el muestreador es bajado para hacer el muestreo, se asiente suavemente en el fondo.

Actualmente, el muestreador Arnhem es probablemente el mejor en su clase de operación. Sin embargo, tiene la desventaja que la eficiencia de muestreo no es constante, sino que varía con la cantidad de sedimento que entra a la bolsa y el taponamiento de la malla. Por otra parte su peso y tamaño no lo hace aplicable a ríos pequeños o de poco calado como los nuestros.

IV.2 Equipo de Muestreo para Material de Fondo

El programa de muestreo para material de fondo se divide generalmente en dos partes. La primera consiste en el muestreo de material de fondo en las corrientes para determinar la granulometría del material con el propósito de calcular la descarga del material de fondo; y la segunda que consiste en el muestreo para determinar la densidad del sedimento depositado en lagos y embalses.

IV.2.1 Cubo de Arrastre

Hay muchos tipos de este muestreador en uso. En U.S.A. el llamado Lane o el simplificado Rock Island (figura 24) - son los de uso común. En el Canadá se usa uno desarrollado

do por la Water Survey of Canada, que consiste de un cubo cilíndrico con filo en la orilla de la boca, diseñado de manera que quede adentro del cubo el envase que guarda el material de fondo recolectado. El muestreador es arrastrado por un cable desde un bote o una balsa.

Este muestreador tiene dos desventajas que son:

- a) Cuando es arrastrado, la cuchilla puede penetrar en el lecho de la corriente;
- b) Cuando se sube el muestreador a la superficie, se pierde parte del material fino de la muestra.

IV.2.2 Muestreador Tipo Cuchara

Este tipo de muestreador (figura 25) es de diseño similar al anterior. Consiste de un envase cilíndrico de 6-8 pulgadas de largo y 4 pulgadas de diámetro. Lleva unido un tubo de 3/4 de pulgada y uno de sus extremos es afilado; el otro extremo lleva unido un plato por medio de una bisagra con resorte que puede cerrarse para evitar que la muestra sea lavada por la corriente al llevar el muestreador a la superficie.

Este muestreador es satisfactorio para corrientes poco profundas (hasta 15 pies de profundidad), y es el recomendable para muestreos de invierno.

IV.2.3 Muestreador Vertical de Tubo

Hay muchos tipos diferentes de este muestreador en uso. La mayoría de ellos usa un pedazo de tubo, un cortador cilíndrico y una sección cónica para evitar que el muestreador penetre muy hondo dentro del lecho de la corriente. Se presiona o se deja caer por su propio peso. El material es retenido en el envase por válvulas de cheque o por vacío parcial dentro del muestreador.

IV.2.4 Muestreador Manual de Pistón

Se describirá el USBMH-53 (figura 26). Está diseñado para recoger muestras de lechos arenosos de corrientes poco profundas, por vádeo o desde un bote. Consiste de un cilindro de 2 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de longitud instalado sobre un tubo. Una varilla pasa a través del tubo para halar el pistón y hacer el vacío parcial dentro del muestreador, para retener la muestra en el cilindro.

IV.3 Calculo Teórico del Material Sedimentable en un Embalse o Depósito

Sea G_f la tasa de arrastre del sedimento de fondo y G_s la del sedimento suspendido de un río, afluente a un embalse.

Sea G_s^i el caudal sólido suspendido saliente, suponiendo que todo el material de fondo se deposite en el embalse, no se operan las compuertas de fondo de la presa.

El peso del material sedimentado en un tiempo t será:

$$P = \int_0^t (G_f + G_s - G'_s) dt$$

El volumen del sedimento será:

$$V = P/\gamma$$

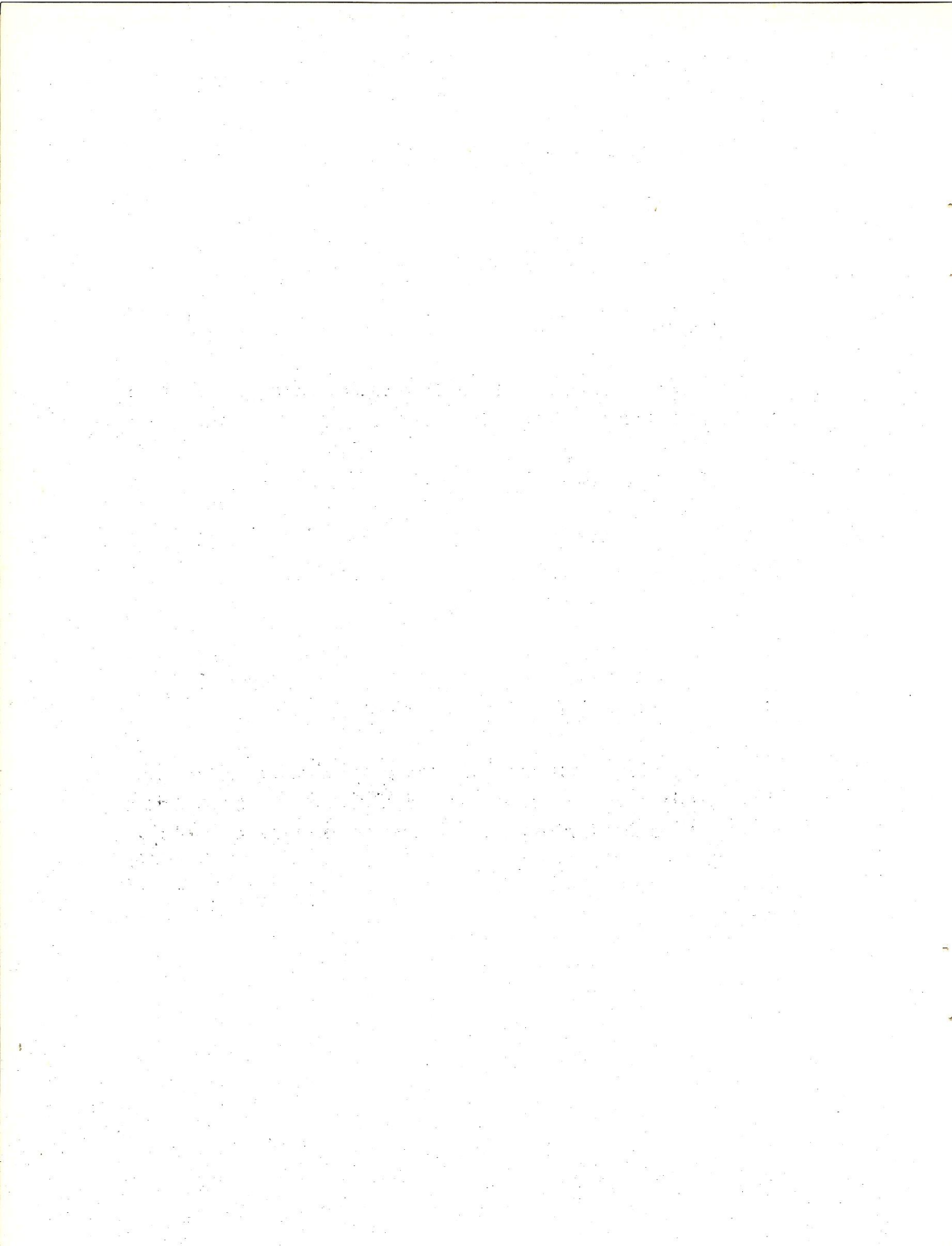
Siendo γ el peso volumétrico seco medio del material depositado en el embalse, luego:

$$V\gamma = \int_0^t (G_f + G_s - G'_s) dt$$

Tanto el volumen como el peso específico del sedimento pueden determinarse, al menos teóricamente.

(V) Es el volumen del sedimento acumulado en el embalse en el tiempo (t): Como además G_s y G'_s son medibles, puede determinarse G_f mediante una integración gráfica (o aritmética) de la expresión anterior.

Este método, que es el único apropiado para grandes ríos, requiere varias condiciones difíciles de cumplir. Además los levantamientos de los depósitos son muy complejos y costosos, aparte de que no se conoce aún un método satisfactorio para determinar la densidad de sedimentos sumergidos "in situ".



V CALCULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO POR FORMULAS

V.1 Cálculo de Transporte de Sedimento en Suspensión

La tasa total de transporte de sedimento en una sección transversal dada de la corriente es la cantidad de sedimento que pasa por la sección en la unidad de tiempo. Esta incluye carga de sedimento en suspensión (G_s) y carga de fondo (G_f). La tasa de transporte puede expresarse en volumen, masa o peso por tiempo unitario.

La carga de material de fondo está en función de la capacidad de transporte de la corriente y bajo condiciones de equilibrio existe únicamente una relación entre el flujo y los parámetros del sedimento. Sin embargo ha sido muy difícil llegar a una fórmula universal que cubra la carga total, $G_s + G_f$, bajo todos los regímenes de movimiento del sedimento.

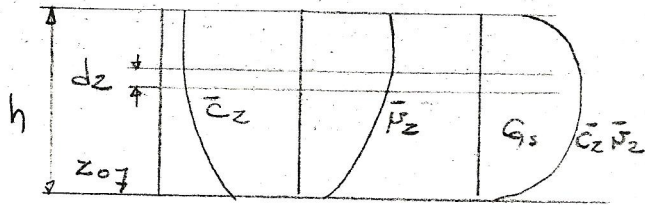
En general, la carga suspendida y la de fondo se calculan por separado. La única relación entre ellas encierra la condición de la suspensión cerca del fondo que liga la carga suspendida y la de fondo. Para determinar esta relación, Einstein (1950) elaboró un procedimiento que transforma la carga de fondo en una concentración, siendo ésta la condición límite inferior para la suspensión.

La carga de sedimento lavable es puramente una carga

suspendida y requiere de la medida de una cantidad (la magnitud de la concentración a cierto nivel).

V.1.1 Cálculo de Carga de Suspensión

- a) Por medio de la medida de la concentración promedio a una altura determinada:



$$G_s = \int_{z_0}^h \bar{C}_z \bar{u}_z dz$$

\bar{C}_z debe medirse en muchos puntos para obtener $\bar{C}_z = f(z)$

\bar{u}_z puede medirse en muchos puntos, o en un punto, sacando una distribución teórica de velocidad

$\int \bar{C}_z \bar{u}_z dz$ se determina gráficamente.

- \bar{C}_z = concentración media a la altura z
- z = altura de muestreo relativa al fondo
- h = profundidad total
- \bar{u}_z = velocidad media a la altura z

Este método es muy laborioso.

- b) Por medio de la medida de una concentración de referencia \bar{C}_a , y usando una ecuación para $\bar{C}_z = f(z)$

La relación entre tasa de asentamiento y la tasa de transporte lateral por turbulencia, sirve de base para la ecuación:

$$\bar{C}_z \omega = -\beta \epsilon \frac{d\bar{C}_z}{dz}$$

tomando: $\beta \epsilon = f(z) = \text{constante}$
y $\beta = 1$

de manera que: $\beta \epsilon = \frac{\tau_0}{\rho} \cdot \frac{d\bar{U}_z}{dz}$

se deriva la siguiente ecuación:

$$\frac{C_z}{C_a} = \left(\frac{h-z}{z} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^{\epsilon_1}$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{0.4} \times \frac{\omega}{U_{*c}}$$

donde:

- a = altura desde el fondo hasta donde se mide \bar{C}_a
- h = profundidad del canal
- K = constante de von Kármán para agua clara
- τ_0 = esfuerzo inicial de corte
- ω = peso de la concentración
- β = constante
- ϵ = constante de viscosidad cinemática de remolino
- U_{*c} = velocidad crítica de corte.

El coeficiente K depende de la concentración. Vanoni (1953) estableció de $XK < 0.2$ para concentraciones $\rightarrow 10 \text{ Kg/m}^3$.

La ecuación anterior no se puede usar para condiciones muy cerca del fondo o de la superficie libre:

$$z = h \rightarrow c = 0 \rightarrow \bar{c}_z / \bar{c}_a = 0$$

$$z = 0 \rightarrow c = \infty \rightarrow \bar{c}_z / \bar{c}_a = \infty$$

Para el cálculo de $\int c v dz$ se puede usar la fórmula logarítmica para la distribución de la velocidad en flujo turbulento:

$$G_s = \int_{z_0}^h \bar{c}_a [\cdot]^{0.8} 5.75 v_* \log \frac{z}{z_*} dz$$

Esto conduce a una integración numérica o al uso de gráficas. Ambos métodos fueron presentados por Einstein.

Estado de Suspensión	$\rho = \frac{w}{0.4 \rho_*}$	v_* / w
Salto intensivo	1.0	0.25
Mitad inferior en suspensión	2.5	1
Las partículas tienden a la superficie	0.8	3
Suspensión bien desarrollada	0.1	20
Suspensión homogénea	0.01	200

de esta forma se obtiene una indicación del régimen del sedimento (debe considerarse con mucho cuidado).

Lane y Kalinske (1941) sugieren una función simplificada, la cual da al mismo tiempo un valor finito a nivel del fondo:

$$\frac{\bar{c}_z}{\bar{c}_a} = e^{+15 \cdot \frac{z-a}{h}} \cdot \frac{\omega}{\sqrt{z_0/\rho_w}}$$

usando una distribución exponencial de velocidad derivaron la ecuación:

$$G_s = \int_0^h v c dz = q \bar{c}_a \cdot P \cdot e^{+15 \cdot \frac{a}{h}} \frac{\omega}{\sqrt{z_0/\rho_w}}$$

donde q es la descarga de la corriente por unidad de ancho y P viene dado en función de ω/\bar{v}_x y N_x/\bar{v} (o $n/h^{1/6}$, en la cual n es el factor de rugosidad de Manning).

ρ_w = peso específico del agua

P = ω/\bar{v}_x

e = base logaritmos neperianos 2.718

Este método es menos laborioso que el anterior. El exponente $\frac{15 \cdot a}{h} \frac{\omega}{\bar{v}_x}$ es el tamaño del grano representado en ω . El diámetro característico, d_{35} , se determina de la muestra. Para determinar N_x debe conocerse la pendiente de energía, o la distribución de la velocidad.

La concentración \bar{c}_a puede relacionarse a la carga de

fondo para tamaño de granos representados en el fondo. Sin embargo, en el caso de carga de sedimento en suspensión de granos más finos que las de fondo (carga lavable), \bar{C}_g puede determinarse solamente por medida.

Usando el procedimiento teórico, se obtiene solamente una estimación de la tasa de transporte, pudiendo cometer errores del 100% y más, especialmente para tasas altas de transporte. La evaluación de los coeficientes debe hacerse a base de mucha experiencia, para mejorar la confiabilidad de los resultados.

V.2 Cálculo de la Carga de Fondo

Un formulario completo del movimiento de la carga de fondo debe incluir todas las variables de flujo y sedimento. Sin embargo, esto no siempre es posible para la mayoría de las fórmulas, en las cuales se asumen ciertas circunstancias como normales e introduciendo como constantes pequeños parámetros de variación.

Los parámetros para el flujo son:

$$P_w, \gamma, h, R, S, \bar{u}_z = f(z) \quad \bar{c}_z = f(z)$$

Rugosidad del fondo, intensidad de turbulencia y otras derivadas de éstos.

En estos:

$$P_w = \text{densidad del agua Kg/m}^3$$

- ν = viscosidad cinemática m^2/seg
 R = radio hidráulico mts
 S = pendiente de la gradiente hidráulica

Los parámetros para el material de fondo son:

ρ_s (densidad del sedimento kg/m^3), tamaño característico, granulometría, forma, propiedades cohesivas y forma del lecho.

Existe una condición límite para la cual no hay movimiento de sedimento. Para que se inicie debe superarse este valor crítico. Las ecuaciones se han basado en:

descarga crítica	$q - q_c$	(erróneo)
velocidad promedio crítica	$\bar{v} - \bar{v}_c$	(erróneo)
esfuerzo de corte crítico	$\tau - \tau_c$	(bueno)
velocidad crítica a nivel del grano	$v_o - v_{oc}$	(muy bueno)

Como para un q o una \bar{v} dados, no están definidas la fuerza actuante, corte, ni arrastre y alza, no encierran un criterio absoluto para el movimiento del sedimento.

V.2.1 Fórmula de Du Bois

Un ejemplo del tipo de fórmula basado en el concepto mencionado es la fórmula de Du Bois (1879):

$$q_f = C_D \tau_o (\tau_o - \tau_c)$$

donde q_f = volumen de la carga de fondo transportado por unidad de ancho y unidad de tiempo;

que expresado en peso tendríamos:

$$G_f = \rho_s \cdot g \cdot q_f$$

$C_s =$ coeficiente, en función del diámetro de partícula.

$$\tau_c = \tau_0, \text{ cuando } q_f = 0$$

Se han desarrollado muchas otras ecuaciones del tipo de Du Bois, introduciendo rugosidad, pendiente, descarga, tamaño de grano, profundidad, en una u otra forma.

V.2.2 Fórmula de Shields

Shields presenta una fórmula dimensional homogénea:

$$\frac{q_f \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)}{q_s} = 10 \frac{\tau_0 - \tau_c}{(\rho_s - \rho_w) g \cdot d}$$

en ella se expresa la carga de fondo en volumen por unidad de tiempo sobre un ancho unitario. τ_c se obtiene de la "curva de Shields" (figura 27).

La complejidad del mecanismo del transporte de sedimento hace muy difícil establecer la dependencia del gasto de fondo sobre los parámetros gobernantes.

En general tendremos:

$$G_f = f(\tau_0, \tau, v, d, \Delta)$$

A =

A valores altos de z_0, z_c se vuelve despreciable. Ecuaciones simples (como la de Shields) son funciones exponenciales, las que permiten una simple detección de la influencia de la variación de uno de los parámetros.

Por ejemplo para la ecuación de Shields

$$G_F \propto (h S)^{5/2} \quad G_F \propto d^{-1} \quad G_F \propto \delta^{-2}$$

Prácticamente ninguna de las fórmulas ha sido suficientemente comprobada para condiciones naturales. Los coeficientes y valores críticos se han determinado por experimentos de laboratorio, algunas veces con dimensiones muy moderadas, de manera que la extrapolación a condiciones naturales no siempre son justificadas. El rango dentro del cual se llevaron a cabo los experimentos es bastante limitado, de manera que cualquier aplicación fuera de este rango puede dar discrepancias muy grandes (incluso en ensayos de laboratorio).

A la fecha todas las fórmulas fallan en la descripción del fenómeno físico del mecanismo de transporte de carga de fondo. Las relaciones empíricas establecidas no cubren todas las variables envueltas en el proceso. Además la evaluación de los coeficientes está sujeta a interpretación personal.

V.2.3 Fórmula de Meyer - Peter y Müller

Originalmente (1934) era una fórmula para el cálculo del transporte de carga de fondo basada en experimentos -

con material de tamaño de grano uniforme y densidad

$$\rho_s = 2680 \text{ Kg/m}^3$$

Con estos datos fijos se establecieron las siguientes relaciones:

$$\frac{q^{2/3} S}{d} = a + b \frac{G_f^{2/3}}{d}$$

donde:

q = la cantidad de descarga del transporte de carga de fondo por unidad de ancho y tiempo (Kg(fuerza)/m.seg)

G_f = el peso (fuera del agua, en el aire) de la carga de fondo por unidad de ancho y tiempo (Kg(fuerza)/m.seg)

También se usa G_f^i = peso en el agua por unidad de ancho y tiempo.

d = diámetro del grano (mts.)

S = pendiente de la gradiente de energía

a y b = coeficientes.

La condición límite para transporte ($G_f = 0$) es:

$$\left(\frac{q^{2/3} S}{d} \right)_0 = a = 17$$

$$b = 0.4 \text{ (usando } G_f^i \text{ } b = 0.55)$$

La fórmula aparece escrita en algunos libros de la manera siguiente:

$$G_f = (A q^{2/3} S - Bd)^{3/2}$$

Se llevaron a cabo prolongadas investigaciones con varias densidades y mezclas de sedimento con densidad

$$\rho_s = 2680 \text{ Kg/m}^3$$

De estos ensayos se hizo evidente la necesidad de considerar la pérdida total de energía, que consiste en dos partes: la primera es debida a la forma del lecho (rugosidad del lecho), la otra es debida a la fricción a lo largo del fondo (rugosidad de la partícula). Se asume que la segunda es la principal en el control de transporte de carga de fondo, y como tal debe introducirse en la fórmula.

Usando la fórmula de flujo de Strickler:

$$\bar{v} = k R^{2/3} S^{1/2}$$

la caída por fricción S' , que forma parte de la total S , puede expresarse en términos de S , usando el coeficiente de fricción para la partícula K' , de manera que

$$S' = (K/K')^2 S$$

De los resultados de los ensayos se obtuvo el mejor ajuste en la fórmula de carga de fondo para las siguientes relaciones:

$$\gamma_w \times \frac{\varphi_s}{\varphi} \cdot \left(\frac{k}{k'}\right)^{3/2} \cdot h \cdot S = 0.047 (\gamma_s - \gamma_w) d_m + 0.25 \left(\frac{\gamma_w}{g}\right)^{1/3} (G_f)^{2/3}$$

Q_s/Q es un factor de corrección en conexión con la forma de la sección transversal de la corriente.

k/k' es el factor de fluctuación, en el cual: $k' = \frac{26}{(d_{90})^{1/6}}$

d_m = diámetro efectivo $\approx d_{50-60}$

La condición límite para transporte ($G_f' = 0$) es para un canal ancho ($Q_s/Q = 1$) y fondo plano ($k/k' = 1$):

$$\frac{\gamma_w \cdot h \cdot S}{(\gamma_s - \gamma_w) d} = \frac{Z_0}{(\rho_s - \rho_w) g \cdot d} = 0.047$$

esta expresión concuerda con la relación para el principio de transporte dada por Shields.

V.2.4 Otras Fórmulas

Además de las explicadas existen varias fórmulas más, las cuales solo se mencionarán y que son:

Fórmula de Kalinske

Fórmula de Einstein

Fórmula de Frijlink

V.3 Cálculo de Carga de Material de Fondo

A la fecha, aún no se ha podido llegar a una fórmula general para el cálculo del material total transportado. Entre los investigadores que han hecho estudios sobre este tema están Simons y Richardson, Bishop, Einstein, Laurson, Bogardi.

VI ESTADO ACTUAL DE LA OBSERVACION DE SEDIMENTOS EN GUATEMALA

Desde 1967 a la fecha, la Hidrología ha recibido en Guatemala un fuerte empuje, siendo hoy día parte integrante de las actividades normales desarrolladas por las instituciones que forman el comité coordinador de Hidrología y Meteorología (INDE, IGN, ON).

La red hidrométrica básica, construida y operada por el INDE en todo el territorio nacional, constituye un gran avance hacia el inventario y evaluación de los recursos hídricos, pues a través de la información así recolectada, se tendrán mejores datos como elementos de diseño en los futuros aprovechamientos que se proyecten construir. Por intermedio de esta red se recopilarán asimismo los arrastres de sedimento o caudales sólidos en la mayoría de las cuencas del país.

El muestreo en forma continua y organizada, puede decirse, se empezó desde 1971, y aunque no se toman muestras en todas las estaciones instaladas por razones económicas, si se mantiene un muestreo sistemático en estaciones de la red seleccionada según zonas ecológicas semejantes y cuencas de características similares a manera de obtener módulos de gasto sólido aplicables por correlación.

Así, de 88 estaciones actualmente en operación, se toman muestras de gasto sólido en 28 de ellas, o sea en un 30

% de la red, distribuidas en todo el país. Estas estadísticas son publicadas anualmente en los Boletines Hidrológicos, - de los cuales está próximo a publicarse el correspondiente al año hidrológico 1972-1973.

Las técnicas de muestreo son las utilizadas según se han descrito en este trabajo, para los equipos de muestreo del sedimento en suspensión US DH-48 y US D-49 para operaciones por vadeo y desde cable y canasta, respectivamente. El muestreo directo para material de arrastre por el fondo no se efectúa, puesto que las características de nuestros ríos no hacen permisible el uso de los equipos descritos anteriormente, los que son utilizados para otras latitudes. Sin embargo, se ha iniciado recientemente un programa de muestreos de fondo para determinación de los factores que hagan factible el uso de las fórmulas de Meyer-Peter-Müller, Shields y Einstein para la estimación de este tipo de arrastres. Se cuenta con instalaciones de laboratorio para los análisis y con el equipo necesario para las operaciones de campo.

Se espera así poder determinar en un plazo no mayor de diez años, valores característicos regionales para la de terminación de la capacidad de transporte del gasto sólido en la República.

VII CONCLUSIONES

VII.1 El objetivo práctico más importante en la investigación sobre sedimentación es obtener una expresión para la descarga de sedimentos, en términos de los parámetros hidráulicos y las propiedades del sedimento. Con esta relación es posible predecir la cantidad de degradación o erosión en las orillas de los ríos que se puede esperar de una corriente, y también será posible elaborar un plan que permita controlar el límite tolerable de ocurrencia o si fuera posible, eliminar completamente el fenómeno.

El desarrollo de la mecánica de sedimentación es aún imperfecto, por lo tanto, las relaciones empíricas que se emplean no dan los resultados precisos que se quisieran.

Lo que más interesa es llegar a conocer una relación entre la descarga del agua y el volumen de sedimento arrastrado por esa corriente.

VII.2 Las fórmulas para descarga de sedimento están basadas en las experiencias de laboratorio. Puesto que muy poco se conoce acerca de cómo cambian las relaciones de transporte, y sobre todo cuando cambia el tamaño de la corriente, no hay bases suficientes para poder juzgar fórmulas deducidas en corrientes pequeñas en canales de laboratorio, cuando se aplican a corrientes grandes, tales como en ríos. Hay pues ciertas incertidumbres dado que las corrientes naturales difieren de las del laboratorio en las secciones irre-

gulares de sus cauces y en sus alineamientos.

El método ideal para evaluar las fórmulas, es el de - comparar las medidas actuales de los sedimentos en los ríos con los valores dados en las fórmulas. Desafortunadamente a la fecha existe muy poca información sobre la descarga de sedimento en los ríos de Guatemala (observaciones desde 1971 - 1973), debido a lo difícil y costoso de hacerlas; sin embargo, el INDE tiene en ejecución un programa de muestreo de sedimentos en todas las cuencas del país, según áreas semejantes, con propósito de obtener módulos zonales de aporte de sedimentos en Ton/Km² de cuenca. Esto solo podrá determinarse después de un registro de diez años de observaciones directas.

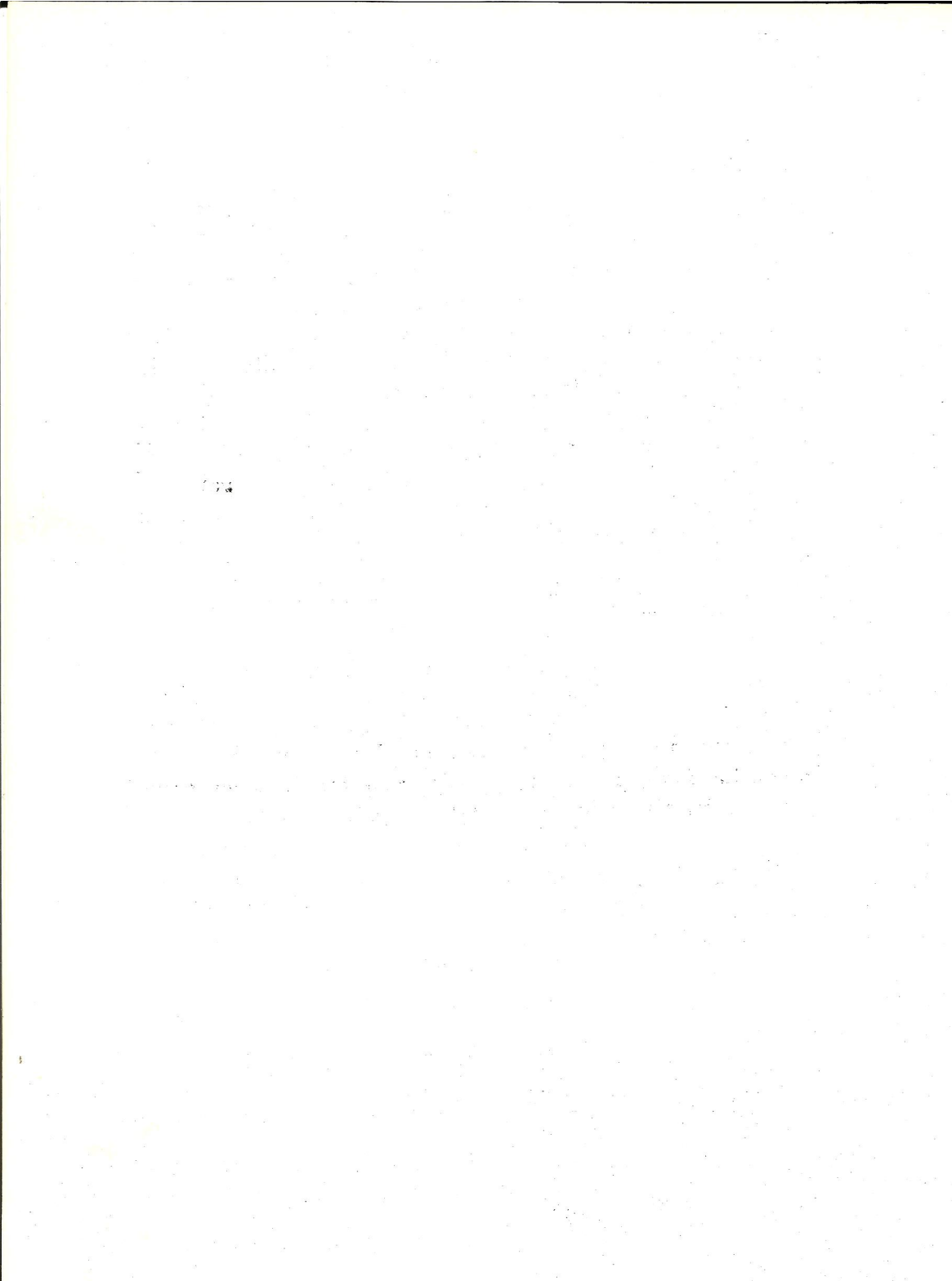
VII.3 En Guatemala el manejo inadecuado de los suelos y las técnicas empíricas de cultivo, las conocidas rozas o quemas previas a la siembra, y la costumbre de sembrar cultivos limpios en fuertes pendientes, combinado con las fuertes precipitaciones pluviales, representan un agente importante de erosión y producción de sedimentos en la casi totalidad de nuestros ríos. El fenómeno es más notorio en áreas del altiplano occidental y la costa sur, donde al mismo se agregan fenómenos volcánicos que son también generadores de material sedimentable. En algunas cuencas de la Zona Norte, este fenómeno está incipiente por el avance de la colonización y la implantación de las técnicas primitivas de cultivo; lo agreste de la topografía del terreno hace temer mayores repercusiones en estas áreas, a las cuales deberá ponerse atención desde ya si se quieren prevenir males mayores.

VII.4 Las características orográficas de tipo montañoso y

pendientes pronunciadas del país, son factores propicios para el arrastre del sedimento. En sus condiciones naturales, las montañas están protegidas por la vegetación contra este fenómeno. Con la desforestación el suelo queda expuesto a los agentes atmosféricos y la capa vegetal es arrastrada junto con el sedimento, quedando los terrenos inútiles para la agricultura; se pierde la fertilidad y los campesinos se ven obligados a emigrar. Esto repercute en la Nación, reduciendo su potencial agrícola y la pobreza consecuente del campesinado y, siendo Guatemala un país cuyas principales fuentes de ingreso provienen de la agricultura, ocasiona la merma de la Economía Nacional.

VII.5 Si se enfoca el problema hacia el aprovechamiento y uso de los recursos naturales del país se puede decir, que debido al volumen de sedimento que arrastran nuestros ríos, al proyectar la construcción de un embalse no es posible determinar con exactitud su vida útil porque se cuenta con muy poca información; ésto causa un incremento en el costo de las obras, por la construcción de estructuras más conservadoras, elevando la altura de las presas.

VII.6 En Guatemala son frecuentes las inundaciones por sedimentación en los cauces y la socavación de los puentes ocasionada por el arrastre de piedras de gran tamaño, combinadas con las crecidas de los ríos.



VIII RECOMENDACIONES

VIII.1 En los estudios hechos sobre el sedimento se han elegido parámetros relacionados con las condiciones de las corrientes específicas de varios países. Es recomendable hacer un análisis para comprobar si dichos parámetros no varían para los ríos del país.

VIII.2 Para lograr establecer la capacidad de arrastre de sedimentos de una corriente, es necesario contar con un buen registro de su caudal sólido; ésto solo es posible de obtener después de un largo período de control de los ríos; es por ésto que se recomienda se efectúe un muestreo continuo y sistemático de los ríos del país, para conocer con exactitud los datos necesarios para el diseño de las obras hidráulicas que se proyecten en el futuro.

VIII.3 La erosión de los suelos del país, causada por las actividades humanas, debe tratar de controlarse hasta donde sea posible. Se hace necesaria una legislación más estricta con aplicación de sanciones económicas y cárcel para quienes propicien desforestaciones, especialmente en las cuencas tributarias de los embalses que se estén usando en obras de beneficio nacional, ejemplo hidroeléctricas. También es prudente recomendar a las Direcciones Generales de Caminos, Obras Públicas y Minería e Hidrocarburos, no echar el desperdicio del material resultante en sus construcciones en lugares expuestos al arrastre hacia las corrientes naturales, sino buscarles el lugar adecuado, o bien, hacer obras

de protección contra el arrastre; con la adopción de estas medidas se conseguiría evitar, o aliviar en parte, la pérdida de capacidad de nuestras fuentes naturales y la riqueza de las capas vegetales, cuya formación llevó miles de años y cuya destrucción se obtiene en pocos minutos.

BIBLIOGRAFIA

Handbook of Applied Hydraulics
Davis & Sorensen

Handbook of Applied Hydrology
Chow

Applied Hydrology
Linsley-Kohler-Paulhus

Engineering Hydraulics
Rouse

Manual de Instrucciones: Hidrometría
Publicación No. 49 P.H.C.A.

Manual de Instrucciones: Estudios Hidrológicos
Publicación No. 70 P.H.C.A.

Manual de Instrucciones
Publicación No. 11 P.H.C.A.

Métodos para la Determinación del Arrastre por el Fondo
Publicación No. 7 P.H.C.A.

Curvas de Descarga de Sedimentos
Publicación No. 8 P.H.C.A.

Notas sobre Transporte de Sedimentos y Estabilidad de Canales

Publicación No. 48 P.H.C.A.

Técnicas Hidrológicas para la Medición de Sedimentos

Publicación No. 55



Marco Morales y Morales

Vo. Bo.



Ing. Orlando Arceaga
Asesor

Vo. Bo.



Ing. Manuel Angel Castillo Barajas
Director de la Escuela de
Ingenierfa Civil

IMPRIMASE:



Ing. Hugo Guan MA
Decano

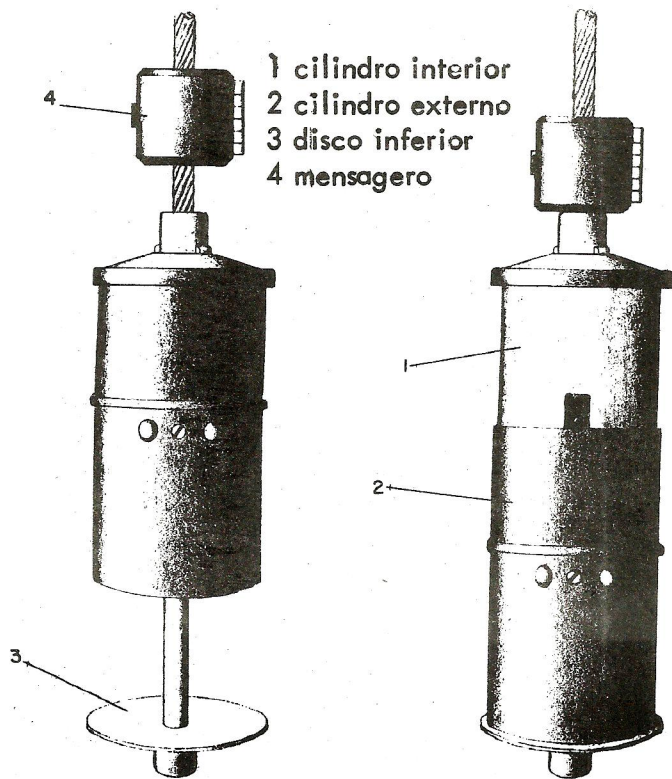


FIGURA 1 MUESTREADOR VERTICAL INSTANTANEO
EAKIN

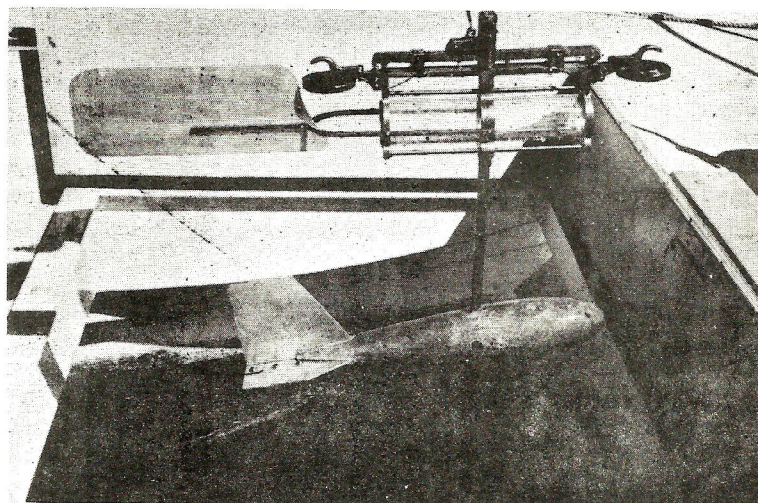


FIGURA 2 MUESTREADOR HORIZONTAL INSTANTANEO

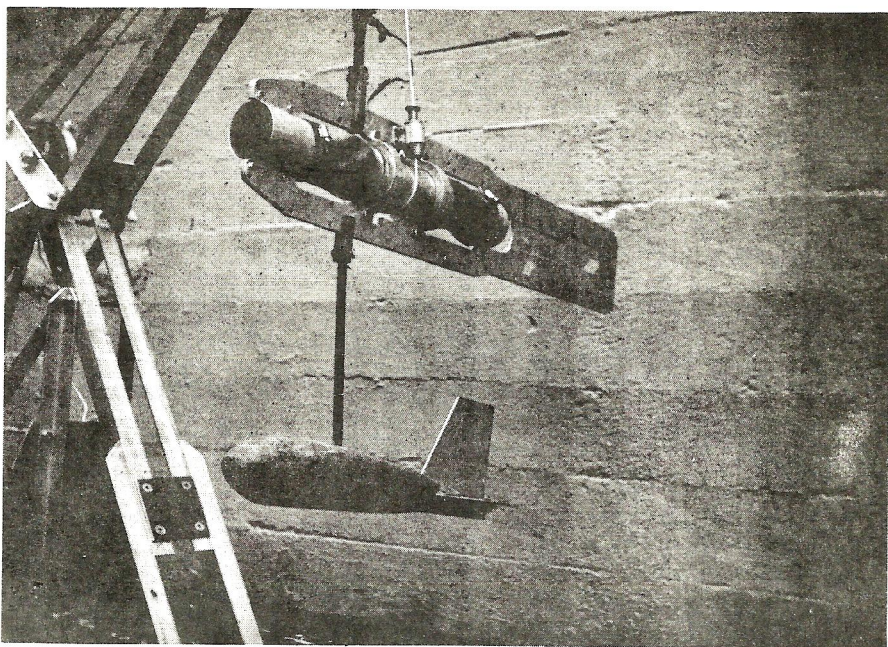


FIGURA 3 A MUESTREADOR HORIZONTAL INSTANTANEO ABIERTO

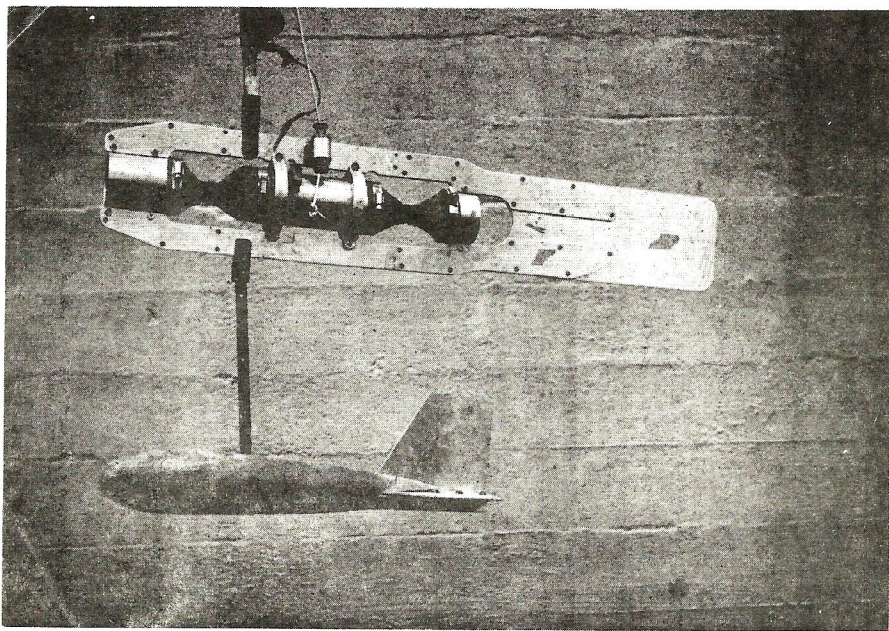


FIGURA 3 B MUESTREADOR HORIZONTAL INSTANTANEO CERRADO

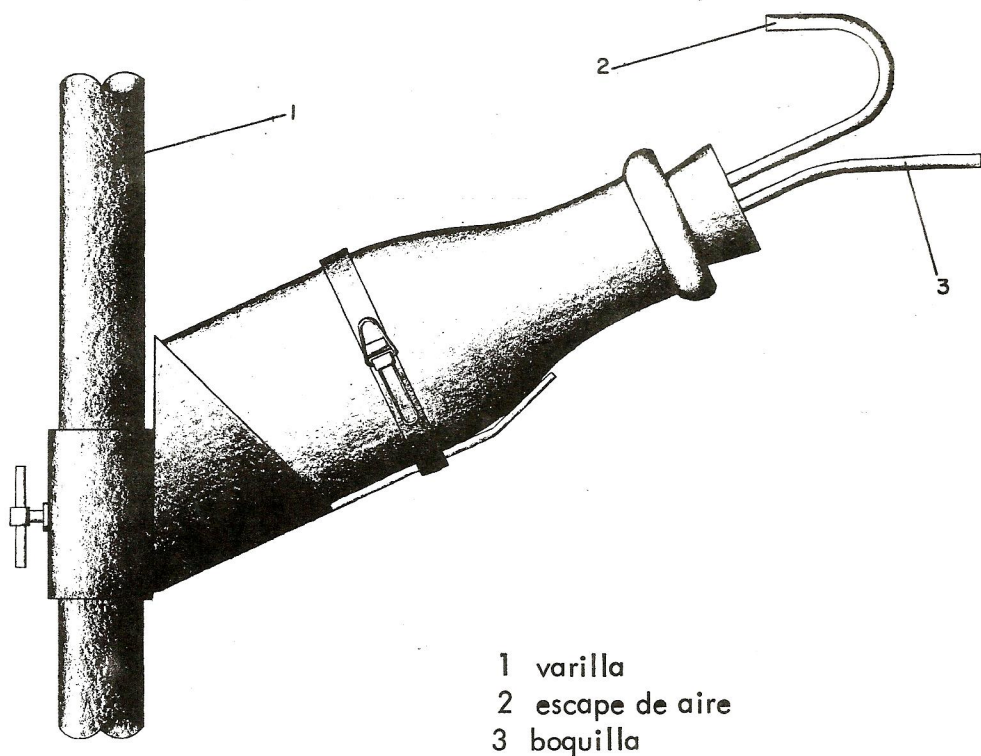


FIGURA 4 MUESTREADOR DE BOTELLA

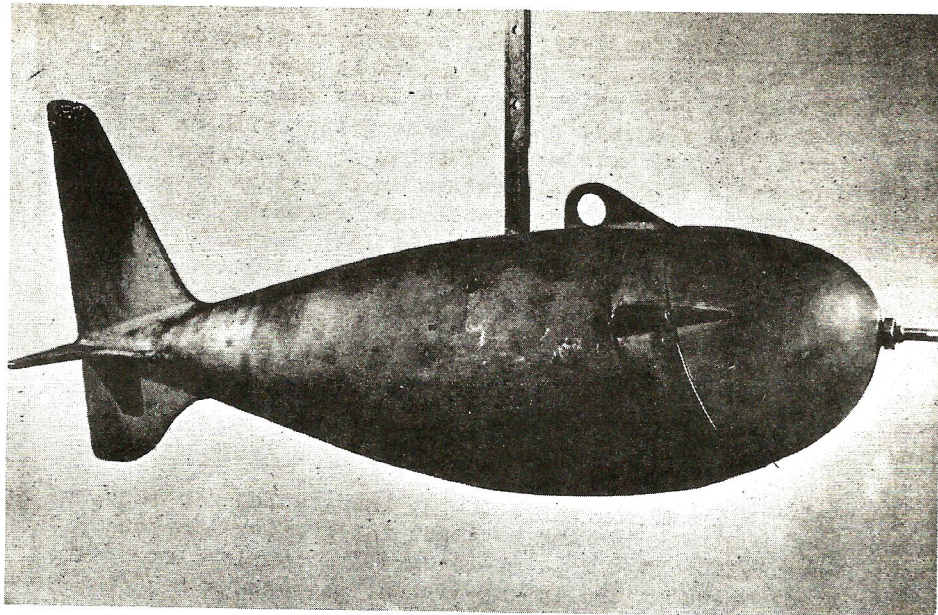


FIGURA 5A MUESTREADOR INTEGRADOR PUNTUAL US P-61
EN SUSPENSION

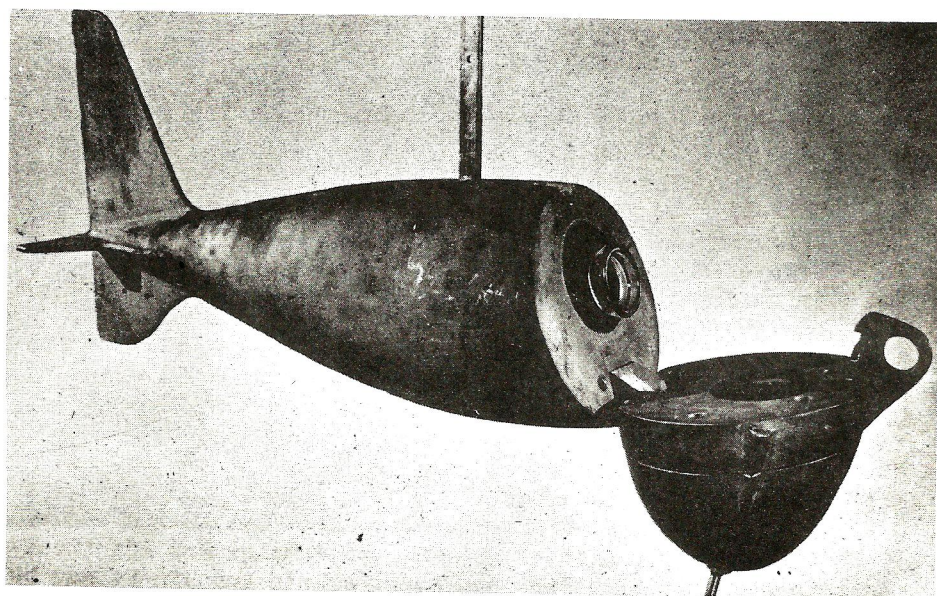


FIGURA 5B MUESTREADOR INTEGRADOR PUNTUAL US P-61
ABIERTO



FIGURA 5C MUESTREADOR INTEGRADOR PUNTUAL US P-61
CON EL CABEZAL DESPRENDIDO

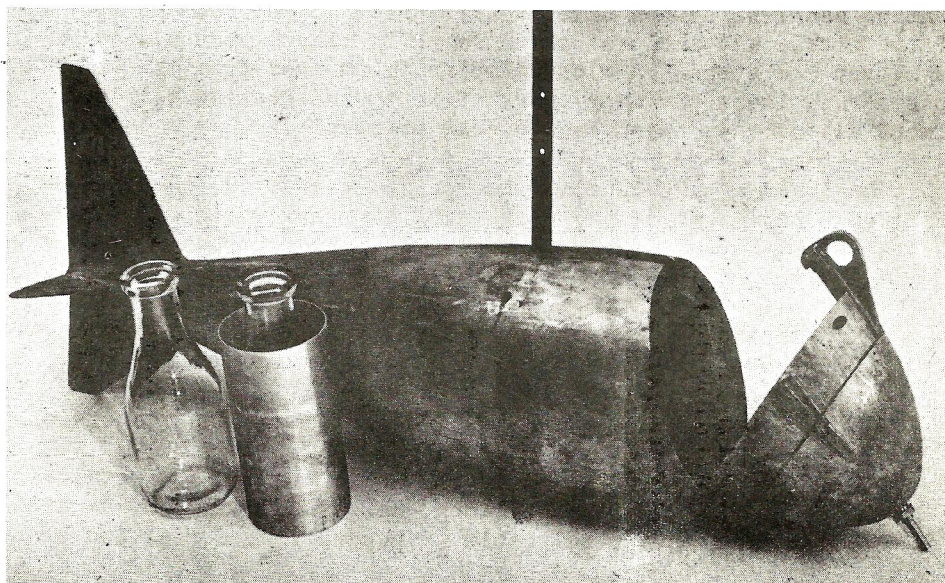


FIGURA 6 MUESTREADOR INTEGRADOR PUNTUAL US P-63

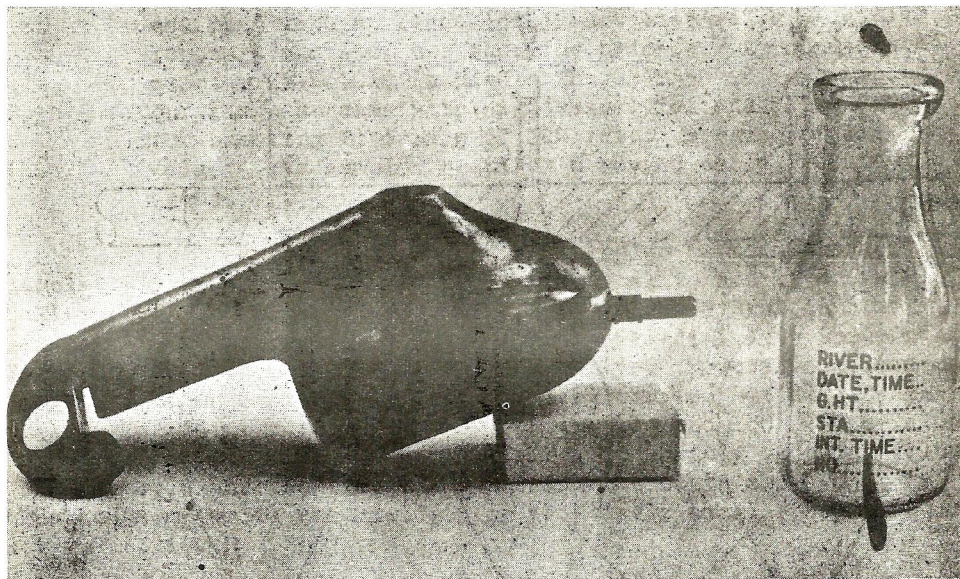


FIGURA 7 MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD
US DH-48

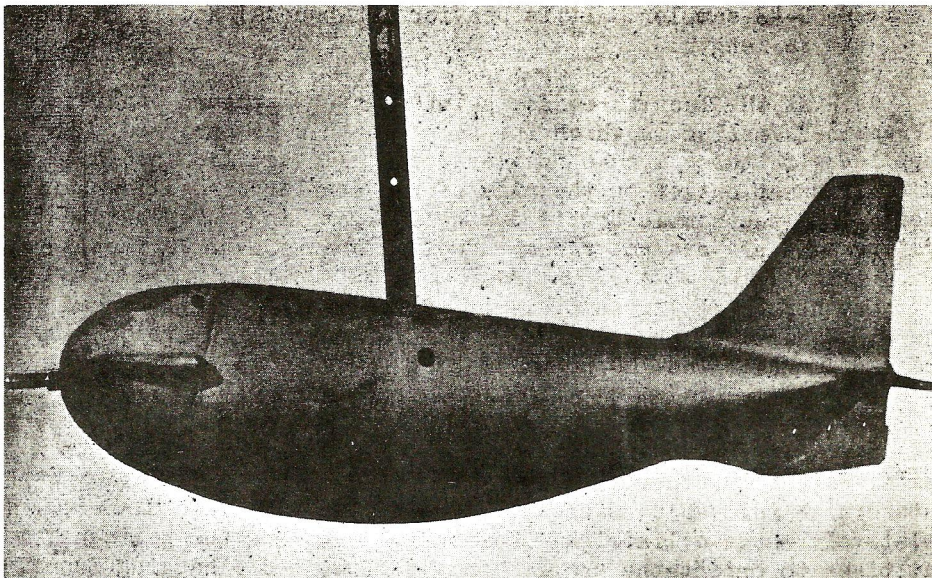


FIGURA 8A MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD
US D-49 CERRADO

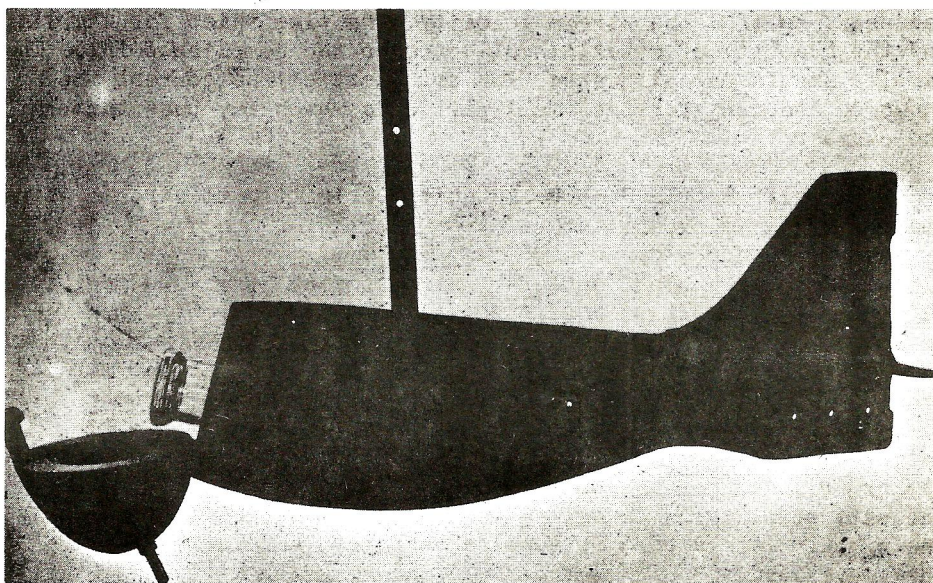


FIGURA 8B MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD
US D-49 ABIERTO

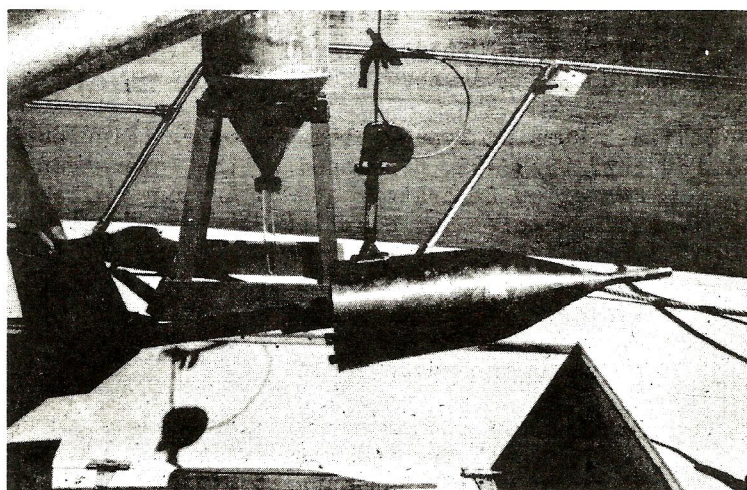
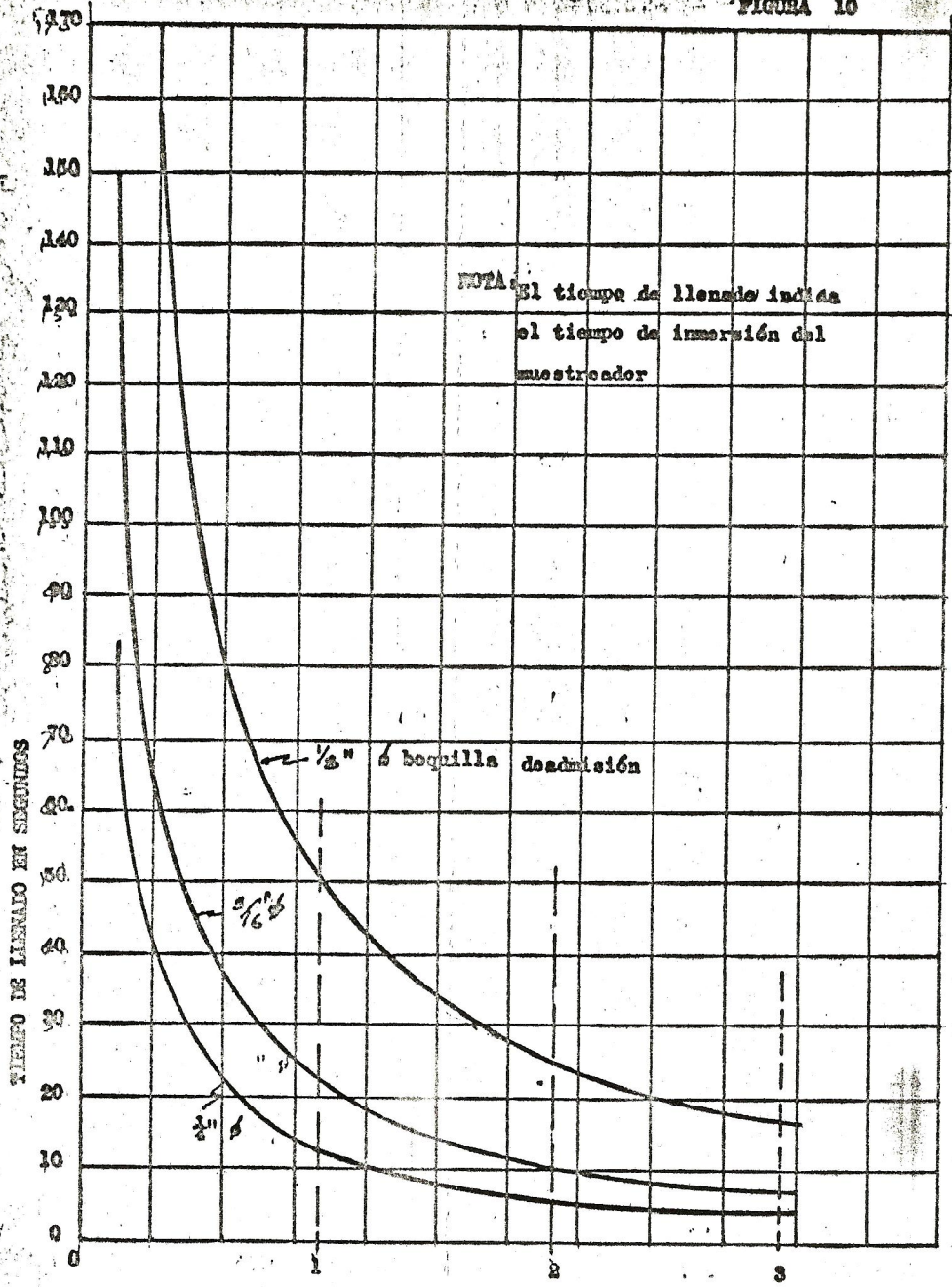


FIGURA 9 MUESTREADOR BOTELLA DELFT



NOTA: El tiempo de llenado indica el tiempo de inmersión del muestreador

1/2" de boquilla de admisión

3/16"

" "

1/8"

TIEMPO DE LLENADO EN SEGUNDOS

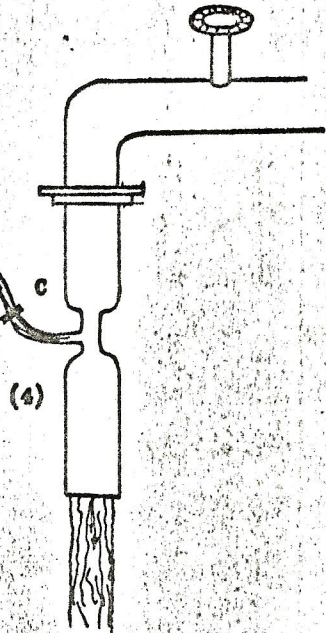
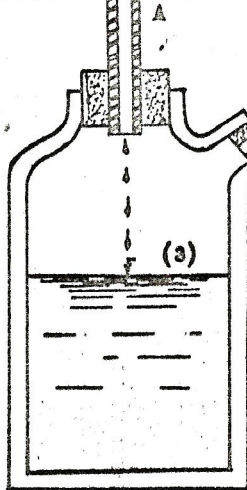
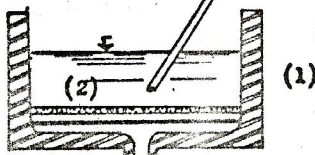
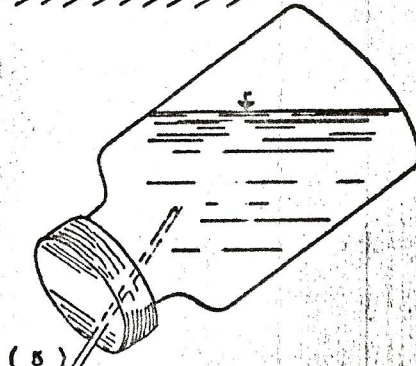
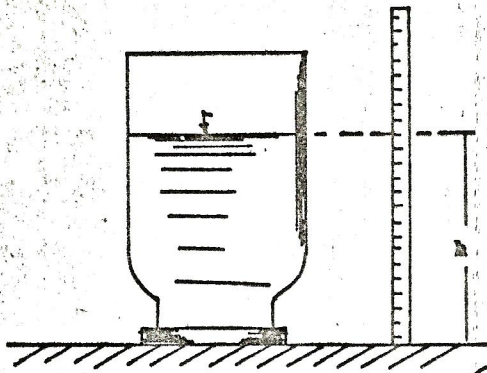
VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO EN MTS/SEG

TIEMPO DE LLENADO PARA BOTELLA DE 305 c.c.

MUESTREADOR DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

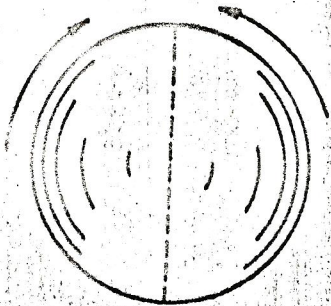
$$V = f(h)$$

DETERMINACION
DEL VOLUMEN DE LAS MUESTRAS

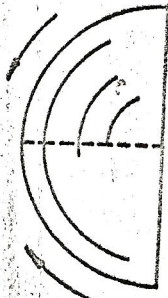


EQUIPO DE FILTRADO

FIGURA 13



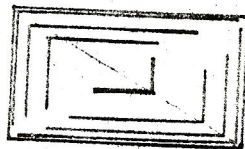
(A)



(B)



(C)



(D)

Sobre hermético

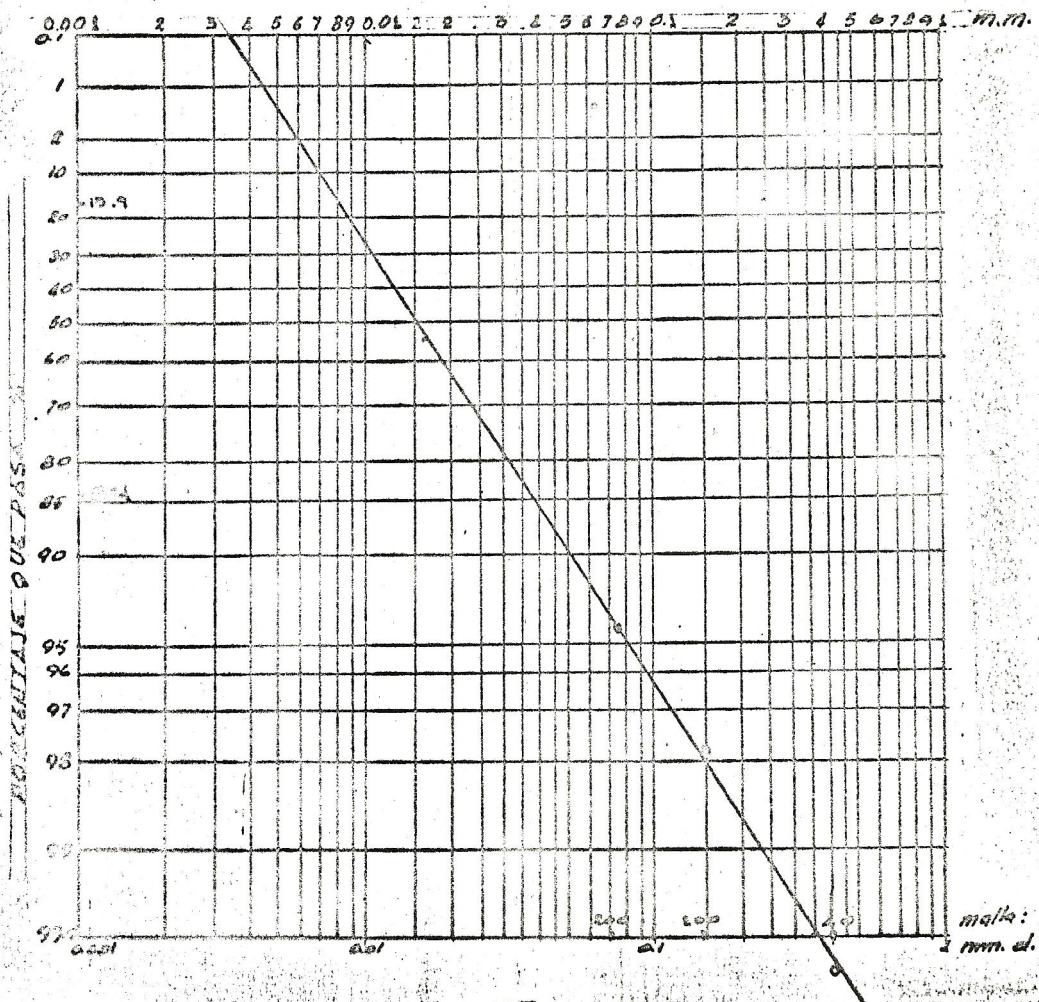
DOMINIO DE LOS FILTROS

Registro de Aforos con Molinete en Rieles

SONDEOS	MUESTRA		VELOCIDAD					SECCION			GASTOS					
	distancia del punto inicial	profundidad	No. de revoluciones	T ¹⁻¹	T-2	T-3	E-T	T ² promedio	velocidad media en la vert.	velocidad media en la vert. con vert.		ancho	profund.	area	Gastos Esclafes	
1	3	3	6	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	DATOS DE CALIBRO	RENTA DE TIEMPO (3 + 6 + 7)	DATOS DE CALIBRO	EN TABLA DEL INSTRUMENTO POR FORMA	COMUN 11 (VALOR ANTERIOR + VALOR POSTERIOR)	COMUN 12 (VALOR ANTERIOR + VALOR POSTERIOR)	COMUN 1 (VALOR ANTERIOR - VALOR POSTERIOR)	COMUN 2 (VALOR ANTERIOR + VALOR POSTERIOR)	COMUN 14 + COMUN 15	COMUN 13 + COMUN 14

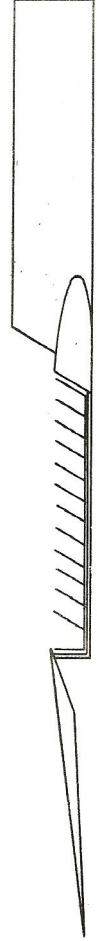
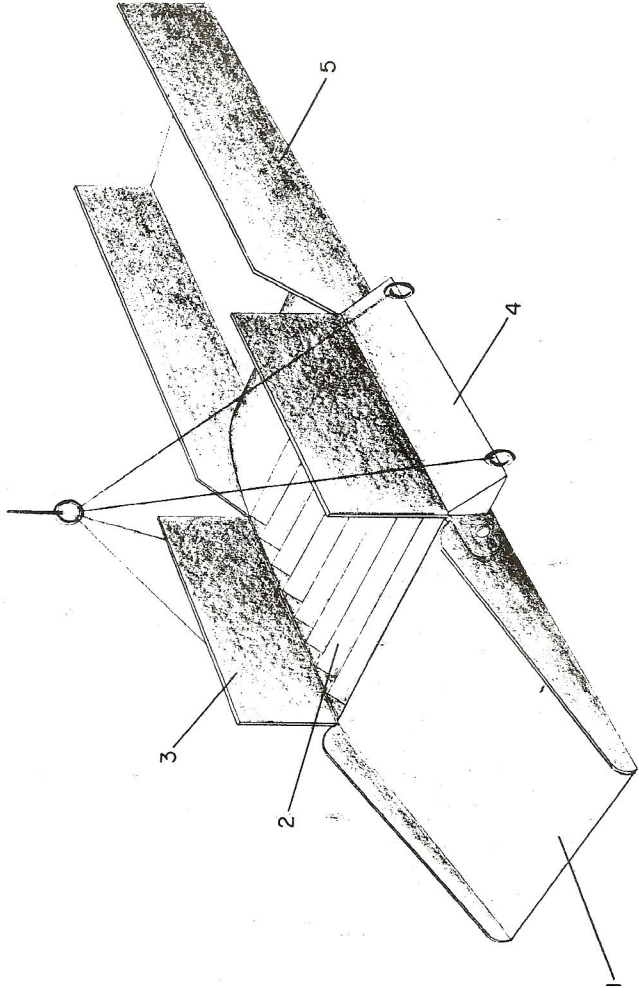
Estación _____ Fecha de AFORO No. _____
 Rio _____ Principio _____ Velocidad Media _____ Mts/seg _____
 Cuenca _____ Terminó _____ Lectura ESCALA programada _____
 Cosecú _____ fecha de edicú _____ AREA IDEAL _____ Mts 2 _____
 Revisó _____ fecha AFORO hecho por _____ GASTO TOTAL _____ Mts/seg.

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS FIGURA 19

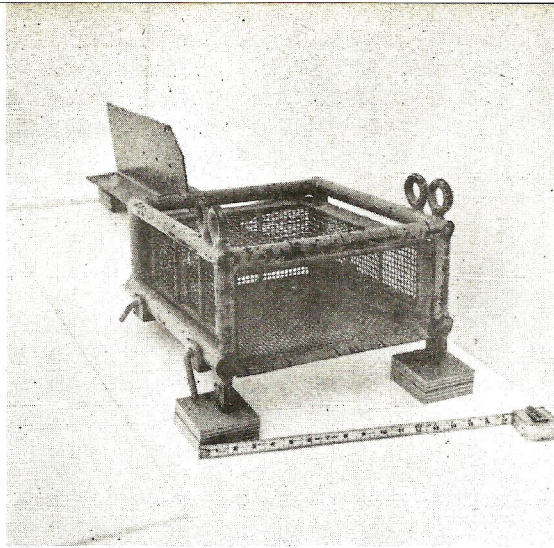


$$y = \sqrt{\frac{0.008}{0.0001}} = 2.14$$

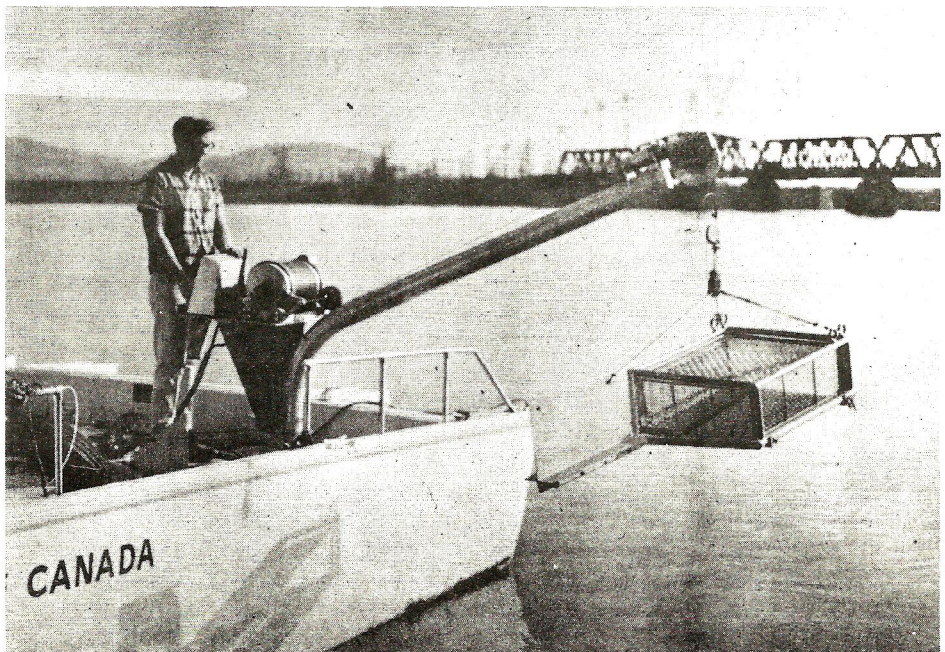
medida: 1 mm. di.



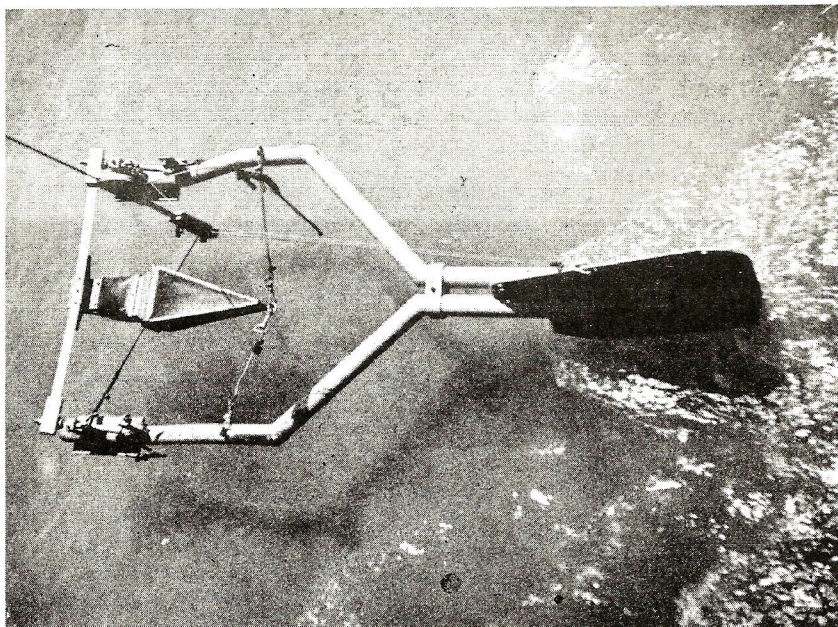
MUESTREADOR POLIAKOFF Figura No. 21



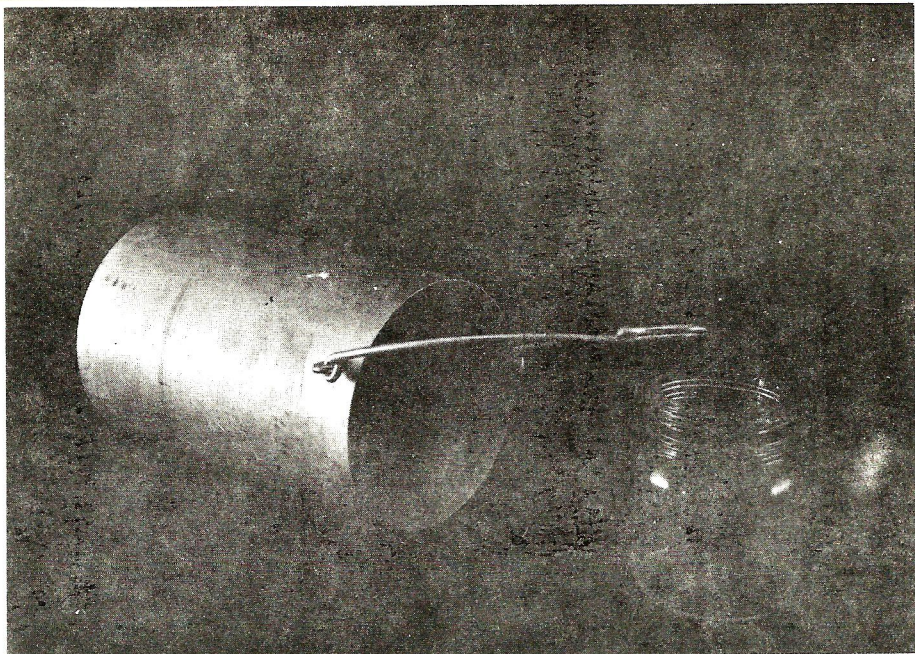
MUESTREADOR DE CANASTA
Figura No. 22 A



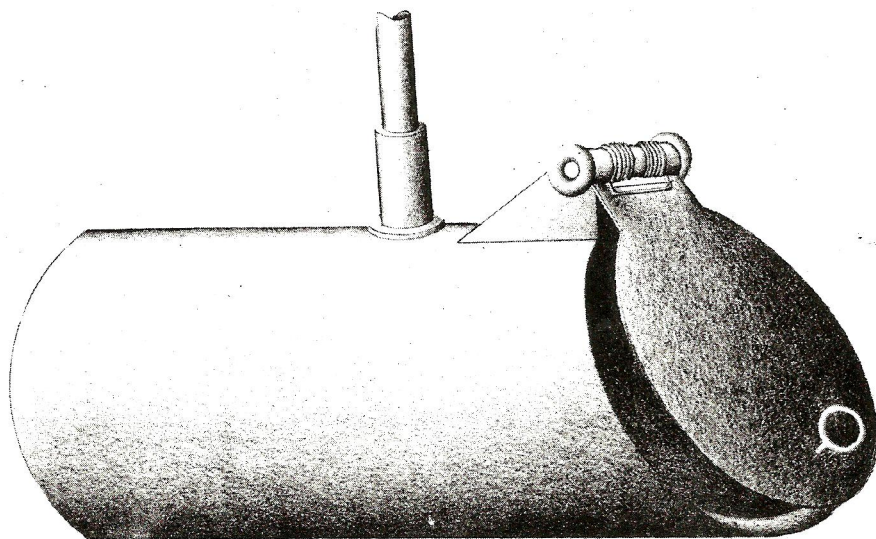
MUESTREADOR DE CANASTA EN SUSPENSION
Figura No. 22 B



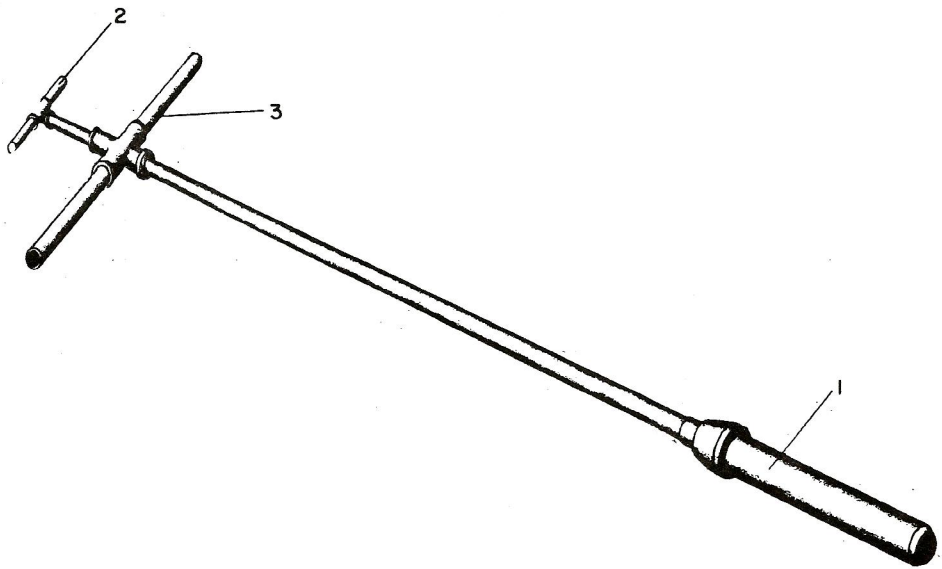
MUESTREADOR ARNHEM
Figura No. 23



MUESTREADOR ROCK ISLAND Figura No. 24



MUESTREADOR TIPO CUCHARA Figura No. 25



MUESTREADOR US BMH - 53
Figura No. 26

A N E X O

**EJEMPLO DE CALCULO DE
SEDIMENTO EN SUSPENSION**

**ESTACION MORALES
RIO MOTAGUA**

Estación MARSALES Aforo No. LE Inicio Aforo 0.64
 Rio MATAGUAS Fecha de Aforo 12-2-73 Fin de Aforo 7h 30min
 Cuenca MATAGUAS Molinete A-OII-17827 L. E. Fin de Aforo 0.64
 Vertiente ATLANTICO Inicio Aforo 6 Horas 00 min Aforador

Código	1	2	3	7	4	5		8	10				
						Profundidad de la Vertical	Profundidad Molinete 1a.		Profundidad Molinete 2a.	No. Rev. 1a. Lect.	No. Rev. 2a. Lect.	Tiempos 1a. Lectura	Tiempos 2a. Lectura
	2000	065	011	012	048	100	55	056	2	100	68	67	0
	4000	070	014	036	150	47	84	4	100	70	4	20	28
	5000	075	015	060	200	47	44	6	150	47	0	48	0
	6000	085	017	068	200	46	8	7	2	150	47	8	4
	7000	090	018	072	200	45	0	4	5	150	43	2	4
	8000	100	020	080	200	40	8	1	6	150	52	8	5
	9000	090	018	072	250	52	6	3	4	200	49	6	5
	10000	090	018	072	250	52	3	5	4	200	50	2	5
	11000	090	018	072	250	48	6	4	4	200	56	0	6
	12000	105	021	084	250	49	2	5	0	420	48	4	5
	13000	125	025	100	250	48	0	4	8	200	51	0	5
	14100	068	011	014	210	MARSALES	DEPES	4					

Registro de Aforos con Molinete en Ríos

SONDEOS		MOLINETE : 4 - OTT - 17827					VELOCIDAD				SECCION			GASTOS	
distancia del punto inicial	profundidad	No. de revoluciones	T-1	T-2	T-3	E-T	1º Promedio	revoluciones/segundo	velocidad medio en la vert.	velocidad media en la vert.	promedio vel. media con vert.	ancha	profund. media	area	Gastos Parciales
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20.00	0.65	ORILLA RIO	48.2	48.4	48.2	48.2	55.60				0.114	10.00	0.25	6.50	0.718
30.00	0.60	100	55.0	56.2			67.70		0.249						
		100	68.4	67.0					0.207	0.220					
40.00	0.70	150	47.8	48.4			48.10		0.471						
		100	42.0	42.8			42.80		0.322						
50.00	0.75	200	47.4	46.6			47.00		0.568						
		150	47.0	48.0			42.50		0.426	0.497					
60.00	0.65	200	46.8	47.2			47.00		0.568						
		150	42.8	41.4			43.10		0.467	0.518					
70.00	0.90	200	45.0	45.8			45.40		0.588						
		150	43.2	42.4			42.80		0.471	0.530					
80.00	1.00	200	40.8	41.6			41.20		0.646						
		150	32.8	34.4			32.10		0.390	0.518					
90.00	0.90	250	52.6	53.4			53.00		0.628						
		200	49.6	60.2			49.90		0.536	0.582					

Estacion MORALESE Fecha de AFORO 12-2-75 AFORO No. _____
 Rfo MORALESE Principio 6 horas 00 min. Lec. Escala 0.64 Velocidad Media 0.459 Mis/seg _____
 Cuenca MORALESE Terminó 7 horas 10 min Lec. Escala 0.64 Lectura Escala Promedio 0.64 Mis _____
 Calculó _____ Fecha de cálculo _____ AREA-TOTAL 105.015 Mis² _____
 Revisó _____ Aforo hecho por Aforo GASTO TOTAL 48.456 Mis/seg _____
 Fecha _____

Registro de Aforos con Molinete en Ríos

SONDEOS	MOLINETE A-O-T-T 17827					VELOCIDAD			SECCION		GASTOS					
	profundidad inicial	profundidad	No. de revoluciones	T-1	T-2	T-3	E-T	revoluciones/segundo	velocidad media en la vert.	velocidad media en la vert.		promedio vel. media con vert.	ancho	profund. media	area	Gastos parciales
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
100.00	0.90	0.16	250	62.6	53.4			53.10		0.427						
✓	✓	0.72	200	50.2	51.0			50.60		0.529	0.378					
110.00	0.90	0.18	250	48.6	49.4			49.00		0.475		0.578	10.00	0.90	9.00	5.302
✓	✓	0.72	200	56.0	56.8			56.40		0.476	0.377					
120.00	1.05	0.21	250	49.2	50.4			49.80		0.668		0.603	10.00	0.98	9.80	5.909
✓	✓	0.84	200	44.8	45.4			45.10		0.592	0.330					
130.00	1.25	0.25	250	48.0	48.8			48.40		0.686		0.617	10.00	1.15	11.50	7.096
✓	✓	1.00	200	51.0	51.8			51.40		0.521	0.604					
141.00	0.68	0.16	210	MARGEN DERECHA												

Estación MORALES fecha de AFORO 12-3-73 AFORO No. _____
 Rfo MOLINETE AFORO hecho por: Lectura de escala promedio 0.64
 Cuenca MOLINETE Principio 6 horas 00 minutos Lectura escala 0.64 Velocidad Media 0.459 475.609
 calculó MOLINETE Revisó Terminó 7 horas 10 min. Lectura escala 0.64
 Fecha de cálculo _____ AREA TOTAL 105.615 m² GASTO 48.456 M³/seg. _____

GASTO SOLIDO DE SEDIMENTO EN SUSPENSION

Nomenclatura _____ Estación MARALES RIO Matagorda Cuenca Matagorda

1	2	3	4	5	6	7
Dist. a la Vert. (x)	(Q) Parcial	(Q) Parcial / (Q) Total	Coef. de la Vert.	Concentr. de la Vert. (Cv)	Cm=A.Cv	OBSERV.
16.00			0.0110	0.2835	0.0031	
	5.0340	0.0220				
30.00			0.0464	0.2845	0.0132	
	16.1300	0.0707				
40.00			0.0787	0.2845	0.0224	
	19.7890	0.0867				
50.00			0.0930	1.0090	0.0938	
	22.6920	0.0994				
60.00			0.1020	1.7335	0.1700	
	23.8610	0.1045				
70.00			0.1034	1.2502	0.1293	
	23.3800	0.1024				
80.00			0.0985	1.2502	0.1231	
	21.6030	0.0946				
90.00			0.0904	0.7668	0.0693	
	19.7040	0.0863				
100.00			0.0856	0.6826	0.0588	
	19.3520	0.0848				
110.00			0.0848	0.5983	0.0507	
	19.3430	0.0847				
130.00			0.0850	0.5983	0.0515	
	19.4130	0.0852				
130.00			0.0787	0.6062	0.0477	
	16.1890	0.0722				
140.00			0.0394	0.6141	0.0242	
	1.4820	0.0065				
144.00			0.0032	0.6141	0.0020	
	228.3020	1.0000			2.8638	

Aforo No. 228.3020 Lectura Limnométrica 1.0000 Temp. Cm³ 1166.5 G/M³

Trabajo de campo por Fecha 20-10-71 G=Cm x Q = 197,695.38 G/Seg.

Trabajo de Laboratorio Fecha G=Cm x Q x 0.0004 = 7

Calculó Fecha 17.07.24 T/Dra

Revisó Fecha

Hoja de

