

CAPITULO 6

TECNICAS DE CAMPO E INSTRUMENTACION PARA LA CAPTACION DE SEDIMENTOS FLUVIALES

POR

DAVID PEREZ HERNANDEZ

Jefe de la Sección de Sedimentología de la División de Hidrología,
Dirección General de Recursos Hidráulicos, Ministerio de Obras Públicas.

Presentado al 1º y 2º Seminarios sobre "Mecánica Fluvial y Algunas
Aplicaciones al Proyecto de Obras Hidráulicas en Venezuela", celebrados en el La-
boratorio de Hidráulica "Ernesto León D", Caracas, Venezuela.

Mayo, 1972

TECNICAS DE CAMPO E INSTRUMENTACION
PARA LA CAPTACION DE SEDIMENTOS
FLUVIALES

David Pérez Hernández

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES HISTORICOS	2
LA NECESIDAD DE EFECTUAR MUESTREOS DE SEDIMENTOS.....	10
CONCENTRACION DEL SEDIMENTO, BASES TEORICAS SOBRE EL MUESTREO EN SUSPENSION	11
CARACTERISTICAS DE UN MUESTREADOR IDEAL	15
TIPOS DE MUESTREADORES	16
PROBLEMAS ADICIONALES RELACIONADOS CON EL MUES- TREO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION	22
CRITERIOS PARA TOMAR MUESTRAS INTEGRADAS EN LA VERTICAL	24
MUESTREOS PUNTUALES EN LA VERTICAL	25
FRECUENCIA DEL MUESTREO	27
ALMACENAMIENTO Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS	30
EXPERIENCIAS DE MEDICIONES EN RIOS DE VENEZUELA RIOS RELATIVAMENTE ANGOSTOS Y POCO PROFUNDOS.....	31
RIOS GRANDES	37
MUESTREOS Y MEDICIONES EN EL LECHO DE CAUCES	35
FUNCION DE UN MUESTREADOR DE DESCARGA DE LECHO.....	36
TIPOS DE MUESTREADORES DE ACARREO DE LECHO	37
MUESTREADORES DEL MATERIAL DE LECHO	41
SELECCION DE LOS SITIOS DE MUESTREO PARA EL MATERIAL DE LECHO	43

	Pág.
FRECUENCIA DEL MUESTREO DEL MATERIAL DE LECHO	44
ESTADO ACTUAL EN LAS TECNICAS DE MUESTREO	44
OTROS MUESTREADORES	45
TECNICAS MODERNAS PARA EL ANALISIS Y MEDICION DE CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS	46
TECNICAS NUCLEARES	47
FUNDAMENTOS TEORICOS	48
APLICACION DE RESULTADOS	49
CALIBRACION Y ERRORES EN LAS MEDICIONES	51
RESULTADOS DEL EMPLEO DE MEDIDORES NEUTRONICOS	52
MEDICION DE LA CONCENTRACION DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION	52
METODOS ALTERNOS RESPECTO AL USO DE RADIOISOTOPOS	53
EQUIPOS AUTOMATICOS DE MEDICION Y ANALISIS DE SEDIMENTOS	54
MEDICION DE LA CONCENTRACION	54
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	55
METODO TURBIDIMETRICO	56
METODO ULTRASONICO	57
AGRADECIMIENTOS	59
TERMINOS	60
BIBLIOGRAFIA	62

	Pág.
FRECUENCIA DEL MUESTREO DEL MATERIAL DE LECHO	44
ESTADO ACTUAL EN LAS TECNICAS DE MUESTREO	44
OTROS MUESTREADORES	45
EQUIPOS DE MUESTREO AUTOMATICOS	46
AGRADECIMIENTOS	48
TERMINOS	49
BIBLIOGRAFIA	51

INTRODUCCION

El estudio de los problemas creados por los sedimentos fluviales motivó a muchos investigadores en el pasado a perfeccionar y diseñar los más diversos equipos de medición, los cuales con el progreso de la técnica en los últimos años, especialmente en las últimas dos décadas, se han mejorado enormemente. Actualmente se dispone de muchas y variadas equipos para cuantificar el transporte y determinar la naturaleza de los sedimentos en la mayoría de los cauces fluviales.

En muy pocos aspectos y en un reducido número de ríos sin embargo, los problemas de medición del sedimento son de tal grado de complejidad que hasta ahora no se vislumbra una satisfactoria solución.

La idea de este informe es hacer una revisión de la evolución, características, ventajas, desventajas, operación y manejo de estos equipos y también útiles accesorios en el campo, para las mediciones sedimentológicas.

A su vez, para que sea de utilidad a muchos no familiarizados con las técnicas y limitaciones que impone el muestreo de los sedimentos fluviales, se hace referencia a los problemas más comunes que se confrontan en el campo relacionados con la frecuencia, selección de los sitios de muestreo, ubicación de verticales, muestreos en crecientes, tipos y clasificación de las muestras, etc.

Detalles adicionales relacionados con las técnicas más modernas de análisis y muestreo automática de los sedimentos, actualmente en perfeccionamiento y no citados en la primera versión de este trabajo, se dan al final.

ANTECEDENTES HISTORICOS

Se dispone de referencias muy antiguas dadas por filósofos (China, Egipto y Mesopotamia) de la importancia, al menos cualitativa, de algunas corrientes fluviales como transportadoras de material sólido. Posiblemente las primeras mediciones de sedimentos en un río se efectuaron en Francia, Gournay Suruon (1800-1809); el Río Elba en Alemania fué muestreado (Blöhm 1837-1854), las primeras muestras del Río Mississippi fueron tomadas por el Capitán Talcott (1838). En ninguno de estos casos se describieron las técnicas e instrumentación empleadas.

Baumgarten fué quien probablemente hizo una seria investigación sobre el transporte sólido en el Río Marna, Francia (1839-1846), las muestras se tomaron superficiales y él asumió que las concentraciones medidas representaban valores medios en cada vertical muestreada. Muchos otros investigadores usaron un razonamiento similar en otros ríos de diversas partes del mundo. Riddell en el Mississippi cerca de New Orleans (1843-1848), Swell en el Río Rhone en Lyon, Francia (1844), Brown y L. Morr en diferentes sitios del Río Mississippi, Jukuschoff (1932) menciona un procedimiento similar empleado en Bavaria y Finlandia.

Fensholt (1851) tomó 7 muestras diarias durante una semana en el Río Mississippi en Carrollton en la superficie, a la profundidad media y cerca del fondo, correspondientes a verticales situadas dos en las márgenes y una central, las muestras se combinaron para obtener muestras compuestas del corto

período, posteriormente se tomaron muestras diarias (1852) y en base a las primeras mediciones, se obtuvo un coeficiente de corrección de 1.2 para obtener la concentración media para el río.

A. Guérard (1859) tomó muestras diarias en el Río Rheno en Francia en un punto a 2.2 m de profundidad debajo de la superficie y a 16.5 m desde una margen. Potriot (1871) captó muestras del Río Loire, Francia y determinó los valores relativos de las concentraciones en la superficie en la profundidad media y cerca del fondo, encontrando valores de 0,9; 1,0 y 1,1 respectivamente.

A. Cunningham (1874-1879) efectuó muestreos del canal Ganges en la India en 9 verticales equiespaciadas, usando un tubo como muestreador puntual; el acarreo total se computó según las concentraciones y las velocidades medias medidas.

El Departamento de Ingenieros de U. S. A. muestreó el Río Mississippi en El Paso (1877-1898). En la margen central se tomaron muestras a 0-3, 3-5, 3-8 m debajo de la superficie, también se muestrearon verticales a 50 m de las márgenes, en la superficie, cerca del fondo y a la profundidad media; muchas variantes se introdujeron para obtener muestras bajo diferentes condiciones de espaciamento y según la profundidad en muchos otros ríos de U.S.A. Se estima que las primeras muestras integradas en la profundidad fueron tomadas por la Comisión Internacional de Aguas y el Geological Survey (1897-1912) en el Río Grande en el Paso y San Marcial, usando una botella con la

cual se muestreaban irregulares intervalos de la profundidad. El Río Sutlej en la India, fue muestreado (1893-1897) con un intervalo de 1-10 días, captando las muestras integradas hasta niveles de 0.3 - 0.5 m desde la superficie.

Durante el período 1900-1930 numerosas agencias en U.S.A. y varios investigadores en diversas partes del mundo, llevaron a cabo mediciones de sedimentos bajo muy diversas condiciones operacionales, las mayores variaciones se introdujeron especialmente en la frecuencia y criterios para realizar muestras puntuales, progresándose muy poco en el perfeccionamiento del equipo de campo.

El Río Nilo se muestreó (1905-1906) aguas arriba de Wada Halfa cada 2 días en 8 verticales con intervalos de variación en la profundidad de 1 m.

Numerosos ríos del Oeste de U.S.A. fueron muestreados por el Geological Survey. Se tomaba (1906-1907) una muestra diaria en un punto que usualmente reflejara un valor medio de la concentración en la sección, pero ocasionalmente se tomaban otras adicionales para definir variaciones locales.

Ellis (1900-1909) tomó muestras con tubo en el Río Kistna en Madras, India, usando un tubo que introducía verticalmente para obtener una muestra en la profundidad total.

Gluschkoff muestreó el Río Murghab, Afganistan (1907-1909) en la superficie, a la profundidad media y cerca del fondo, en tres verticales espaciadas a 1/4 de las márgenes y una central, este procedimiento fue el mismo

usado por el Bureau of Reclamation (1909) en el Río Colorado en Yuma, aquí, durante 8 años, se calculó la descarga de sedimentos multiplicando el porcentaje (concentración) medio mensual de sedimentos por el caudal medio mensual.

En el Río Indus se tomaron muestras puntuales en 4 verticales equidistantes, a la profundidad media en la superficie y cerca del fondo.

Mediciones de sedimentos en algunos ríos de Turkestan señalaron que la concentración media ocurría en verticales situadas a $1/5$ de los márgenes y al 60% de la profundidad. También en China (1912-1922), se tomaron muestras diariamente de los ríos Yangtze y Whangp.

Sanderson (1914) efectuó muestras diarias en el Río Irrawaddy en Burma. Se eligieron 8 verticales tomando muestras superficiales a la profundidad media y cerca del fondo, también se tomaron muestras de lancha, no se cita el muestreador empleado.

El Departamento de Agricultura (USA) tomó dos muestras mensuales (1917-1918) del Río Colorado en la superficie a la profundidad media y cerca del fondo en verticales localizadas a $1/4$ de los márgenes y en el centro, cuando la profundidad era menor de 0.6 m se tomaban solamente muestras en la superficie.

Desde 1925 al presente, el U.S. Geological Survey ha efectuado muestras puntuales e integradas en el Río Colorado y sus mayores tributarios, aquí fue donde inicialmente se usó una botella con un tapón que permitía gradualmente la entrada del fluido; si la profundidad era muy grande, tal que la

capacidad del embalse era muy pequeña para muestrear todo el intervalo, se integraba por sectores.

Tanto el Departamento de Agricultura como el U.S. Geological Survey han efectuado muestras en ríos de Texas en verticales espaciadas a $1/6$, $1/2$ y $5/6$ de una margen. Los primeros encontraron que la concentración superficial representaba el 91% de la concentración media en la vertical. El Departamento de Ingenieros de USA efectuó muestras en el bajo Mississippi en verticales espaciadas a $1/4$, $1/2$ y $3/4$ del ancho, aquí se usó como criterio para espaciar las verticales, la distribución del caudal en las secciones.

Straub (1927-1930) efectuó muestras en el Río Missouri y sus tributarias. En las estaciones principales se tomaron muestras puntuales al 0,2 y 0,8 de la profundidad asignándose pesos a las concentraciones obtenidas de 5 y 3 para lograr la concentración media en la vertical, la separación transversal entre verticales variaba de 1,2 a 30 metros. En las estaciones menores se tomaban muestras superficiales en la margen central, corrigiéndolas por un factor de 1,1 - 1,2 para obtener la concentración media.

Giandotti (1930-1932) efectuó mediciones en el Río Po, Italia, y las muestras tomadas a la profundidad media, dieron errores respecto a la concentración media de 6% en altos niveles y de 14% en niveles bajos. Las muestras se tomaron diariamente en un punto a 1 metro debajo de la superficie y en tres verticales situadas una cerca del centro y dos inmediatas a los márgenes.

Ingenieros de la Unión Soviética (1932) efectuaron muestreos en el canal de riego Boz-Su cerca de Tashkent escogiendo tres verticales a $1/4$, $1/2$ y $3/4$ del ancho en la vertical central se eligieron puntos de muestreo a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad, en las verticales marginales se muestreó al 0.5 de la profundidad.

En los ríos Christiana y Delaware en su curso bajo, se efectuaron muestreos en varias verticales a intervalos de la profundidad de 1.5 y con una frecuencia de 15 minutos durante el ascenso y descenso de sus crecientes. Lumby (1937) desarrolló un método para espaciar verticalmente las muestreos, basado en que cada muestra cubriese una parte proporcional de la descarga en la vertical, siendo empleado en el Mississippi superior y sus tributarios. En Vicksburg se efectuaron muestreos en puntos situados a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad y a 1.2 y 4 pies del fondo, se consideraron como criterios básicos para elegir los puntos de captación, a la variación en la geometría de la sección y la distribución de velocidades.

Se muestreó sistemáticamente el Río Mississippi en Illinois (1938) por el Departamento de Ingenieros de USA. Se tomaron mediciones de concentraciones y velocidades al 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9 de la profundidad en siete verticales. La misma agencia efectuó muestreos integrados aguas abajo y aguas arriba de 31 barras en el Río Connecticut (1938).

En Venezuela, Colón (1944) durante su tercer viaje a América, anotando por el Delta del Orinoco, diferencia a infiere la presencia de un gran

rio al observar el contraste entre las claras y salobres aguas marinas, de las dulces y turbidas que se presentaban al acercarse a tierras continentales. Humboldt en sus viajes por diversos sitios del país, además de efectuar mediciones fluviales diversas, destaca el carácter de los materiales transportados por algunos de los ríos del país, que él observó.

S. Aguirrevera y Chilly (1924) efectuaron sondeos y apreciaciones sobre el acarreo de sedimentos en el Río Orinoco en Ciudad Bolívar.

En 1929 la Compañía Consulting Engineers efectuó sondeos y mediciones de velocidades superficiales en Ciudad Bolívar.

E. Sifontes (1948 y años anteriores) reporta variaciones de la concentración superficial de sedimentos en el Río Orinoco en Ciudad Bolívar.

La División de Estudios Hidrológicos del MOP (1949) realiza mediciones de caudales y sedimentos en el Río Orinoco en Ciudad Bolívar. Se usó el Tait-Binckley y la concentración superficial medida fue de 0.017% en peso.

Durante el período anterior a 1948 se usó en la entonces División de Estudios Hidrológicos del Ministerio de Obras Públicas una botella de cuello ancho (Fig. N° 1) con un tapón de papel que se rompía a la profundidad deseada de muestreo (0.2 - 0.8 de la profundidad) se elegían tres verticales separadas a $1/4$, $1/2$, $3/4$ del ancho en las secciones, para determinar la concentración media. Posteriormente se empleó el Tait-Binckley para tomar muestreos

tres puntos con el mismo criterio para el espaciamiento de las verticales. Si simultáneamente, se midían velocidades al 0,2; 0,8 y 0,6 de la profundidad para evaluar la descarga de los ríos. Se recomendaba tomar en crecientes al menos dos muestras, una durante el ascenso y otra después del pico, normalmente se tomaban dos muestras semanales, pero en casos especiales de algunos ríos, el muestreo era diario. Se practicaba análisis de concentración en peso y en volumen. Los cálculos de acarreos se calculaban por períodos mensuales para comparar relaciones.

La División de Hidrología (1967) introduce en escala nacional el uso de muestreadores de diseño hidrodinámico USDH-48; USD-49; USBMH-60 para muestrear todos los ríos bajo su control y se organizan laboratorios para efectuar análisis granulométricos y determinaciones de pesos específicos, tanto de sedimentos en suspensión como de materiales de lecho.

En 1968 se inicia, con las mediciones hidrológicas en grandes ríos en el sur del país, captaciones de sedimentos con los equipos más modernos. Se toman muestras integradas, puntuales y con un cenado espaciamiento en las verticales cuya elección se hace dependiendo de la geometría de las secciones y la distribución del caudal.

LA NECESIDAD DE EFECTUAR MUESTREOS DE SEDIMENTOS

El objetivo de tomar muestras de sedimentos es determinar sus características cualitativas y cuantitativas, las que conocidas suficientemente son de utilidad, para evaluar, interpretar y analizar el funcionamiento de cualquier proyecto relacionado con el aprovechamiento más racional y conservación de cualquier fase del medio ambiente.

Los sedimentos fluviales son los transportados y/o depositados en el agua y su mejor conocimiento es útil para el diseño, operación, mantenimiento y conservación de cualquier obra o estructura hidráulica, así como para la conservación del agua y de los recursos naturales no renovables en las cuencas hidrográficas.

Una importante etapa en el tratar con problemas creados por los sedimentos fluviales y sobre el cual se hará aquí énfasis especial, es la medición de éstos en el campo. Esta precede necesariamente a los análisis de laboratorio, evaluación e interpretación de los resultados que es en su conjunto lo que lleva al mejor conocimiento de la naturaleza del problema. Axiomáticamente, aunque las técnicas y el uso de instrumentos de medición es tan antiguo como otras de la misma especialidad y a pesar de que mucho se ha avanzado en ciertos aspectos, son muchos y de naturaleza muy compleja los que aún permanecen sin resolver.

CONCENTRACION DEL SEDIMENTO. BASES TEORICAS SOBRE EL MUESTREO EN SUSPENSION

Para que la medición del sedimento transportado por una corriente fluvial sea suficientemente exacta, es necesario que las muestras tomadas con cualquier instrumento, representen realmente la concentración del sedimento en el punto de medición. A ésta se define como la relación del peso seco de sedimento al peso o volumen de la mezcla de agua y sedimento; ambas pueden ser expresadas en la forma:

$$C_t = \frac{W_s}{V} = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_s} - \frac{100}{\gamma_s C_s} - \frac{1}{\gamma_w}} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_s = \frac{W_s}{W} = \frac{1000}{1 - \frac{100 \gamma_w}{C_t} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}} \dots\dots\dots (2)$$

Obviamente, la concentración puede expresarse en diversas unidades, dependiendo del uso que destine con los datos y del tipo de sedimento. Por ejemplo, la primera se recomienda sea usada en muestras, con altas concentraciones de arena o sedimentos gruesos.

La concentración del sedimento puede referirse a un punto, al promedio sobre una línea, a una sección o a un volumen del flujo, pero es importante diferenciar entre los conceptos de concentración de transporte y concentración espacial. La primera, mide la rapidez del flujo de sedimento que se produce a través de una sección perpendicular al sentido del flujo, cuando se

compara con la rapidez del movimiento de la mezcla de agua y sedimento pesando sobre la misma área, mientras que la concentración espacial mide la cantidad de sedimento contenido en un volumen unitario del fluido. Ambas no tienen que ser iguales aún para un mismo punto del flujo y una relación entre ambas puede expresarse como:

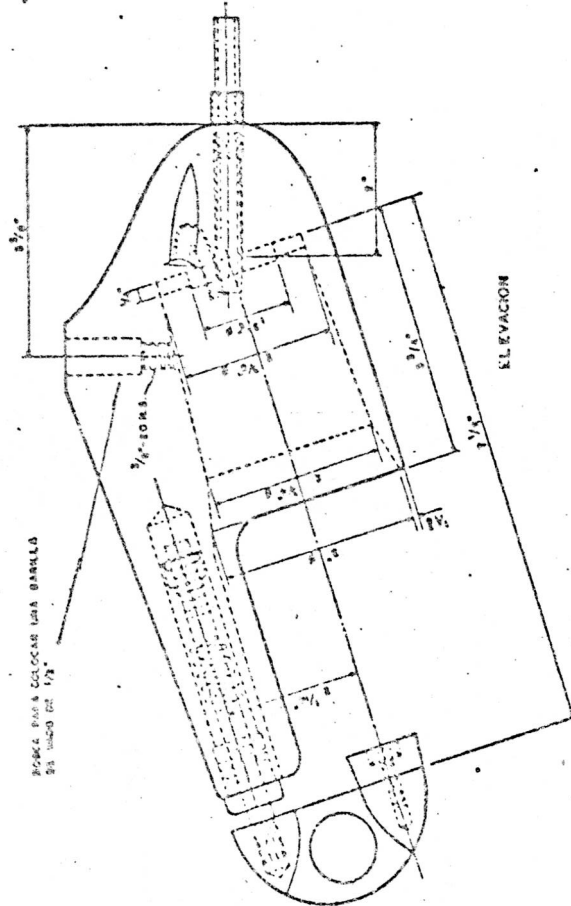
$$\frac{C_s}{C_t} = \frac{V}{V_s} \dots\dots\dots (3)$$

Si el sedimento se mueve con la misma velocidad del flujo, como generalmente ocurre con el material suspendido a una cierta altitud sobre el lecho, ambas concentraciones son similares, no ocurre así cerca del lecho del río, donde la velocidad del sedimento es inferior a la de corrientes circundantes; aquí la concentración espacial excede a la concentración del flujo o de transporte. La determinación precisa de la concentración media -C- en una vertical de un río, presenta una serie de limitaciones impuestas tanto por las características geométricas y del flujo en la sección, como por el diseño del aparato de captación. Muchas de estas limitaciones se analizarán posteriormente. En el caso más general, consideremos una muestra tomada por integración en la profundidad de volumen V y peso W que pueden expresarse en las formas:

$$V = \int V_A dA \dots\dots\dots (4)$$

$$W = \int V_A C dA \dots\dots\dots (5)$$

La velocidad de desplazamiento del muestreador puede definirse como $V_r = dy/dt$ lo cual permite, al efectuar el cambio de variables con los nuevos límites de integración, obtener para las anteriores expresiones:



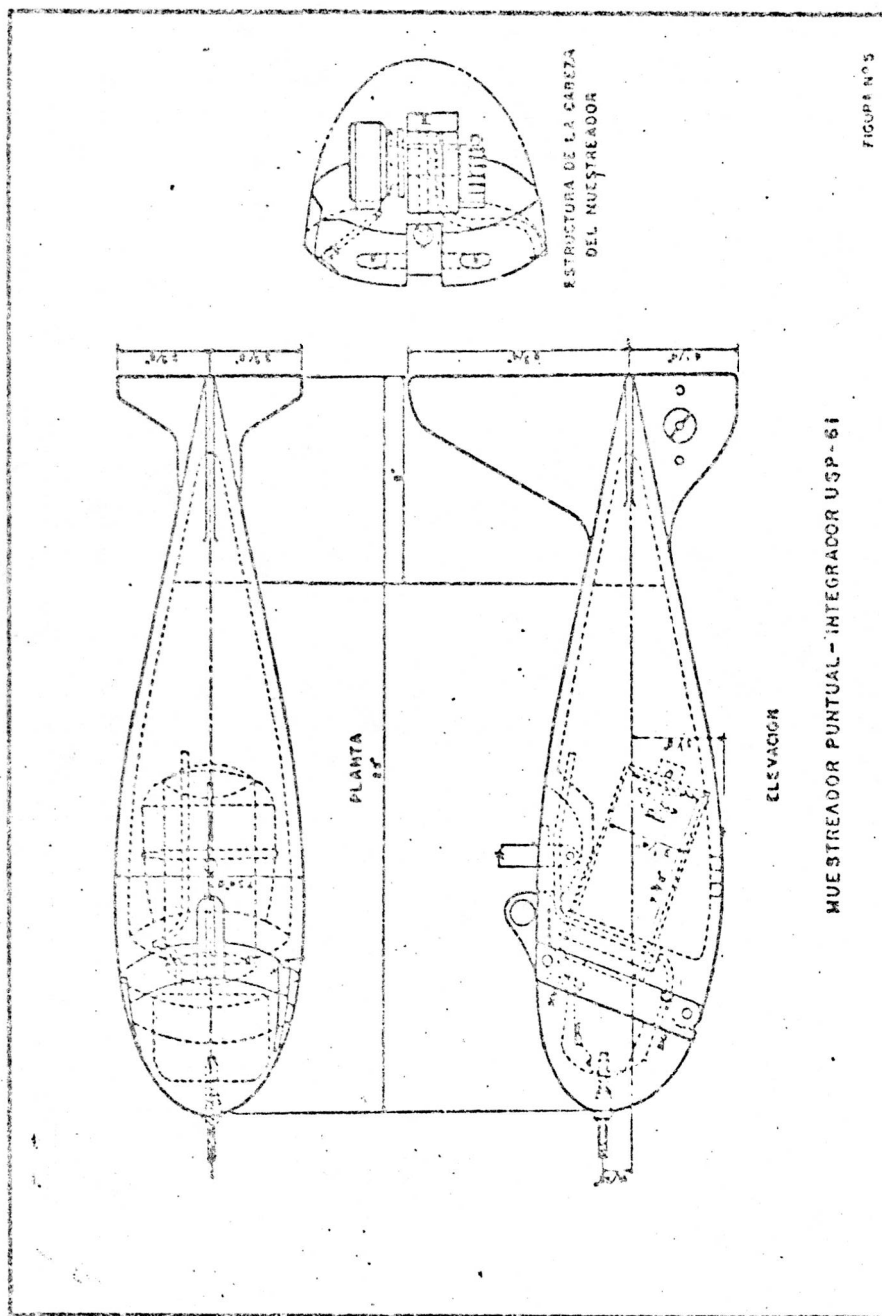
MUESTREADOR DE VADO DEL TIPO INTEGRADOR EN LA PROFUNDIDAD USDH-48

FIGURA N° 3

Una serie de muestreadores (de la serie US) tanto integradores en la profundidad como puntual-integradores, han sido desarrollados en los últimos años y su uso se hace cada día más común en diferentes países. Estos están provistos de una boquilla que sobresale de la cabeza del muestreador y un tubo conectado al envase que permite la salida del aire conforme se sumerge el aparato para tomar la muestra. El envase es una botella de vidrio de cuello ancho, que permanece en una posición inclinada evitando que se derrame la muestra, cuando ésta se encuentra aproximadamente llena. La capacidad para una muestra es de 400 cc y la profundidad límite para integración es de 5 metros.

De los cuatro tipos comunes de muestreadores integradores en la profundidad, existen dos y se usan rutinariamente en la División de Hidrología del MOP y son el USDH-48 y USD-49. El primero (figura N° 3) se usa en ríos vadeables con velocidades moderadas, es un aparato liviano de 2.04 Kg. de peso y de 33 cms. de longitud, construido en forma hidrodinámica con una aleación de aluminio. Posee, sobresaliendo de su cabeza, una boquilla (diámetros alternos 3 1/2", 1/4" de 3/16") y un conducto para el escape de aire. Durante la operación de muestreo, el aparato se orienta con la boquilla en la dirección de la corriente, siempre manteniendo vertical la varilla para vado, de 1/2" que facilita su soporte manual.

El USD-49 (figura N° 4), es en muchos aspectos de su funcionamiento similar al anterior, está construido de una aleación de bronce con un



peso de 28,2 Kg. y se usa suspendida con cable desde la canastillo, puente o bote debidamente acondicionado. Tanto el juego de boquillas como el dispositivo de escape de aire es similar al del USDH-48; para operarlo se coloca una botella en el cuerpo del muestreador, abriendo la cabeza, móvil y articulada a la parte frontal inferior del cuerpo del aparato, se cierra y luego se introduce en la corriente bajándolo a una velocidad uniforme hasta el fondo, inmediatamente se sube de nuevo conservando uniforme la rata de ascenso. Este instrumento es fácil de operar y debido a su mayor peso es más estable a velocidades relativamente altas. Otros de esta categoría son: el USDH-52, el cual se diseñó para corrientes no vadeables con velocidades bajas, mediante suspensión manual, pesa 7.2 Kg. y en su diseño, es similar al USDH-48 usando el mismo tipo de boquillas, pero posee aletas direccionales.

El USD-43 es muy similar al USD-49, excepto que su peso es de 22.7 Kg.

Los muestreadores puntuales-integradores son más versátiles y complejos que los anteriores. con ellos pueden tomarse muestras que den concentraciones medias en un punto debajo de la superficie hasta un valor limitado cerca del fondo o bien obtenerse muestras en un intervalo (10 m) de la profundidad, lo que les hace adecuados para usarse en muestreos de verticales profundas. Todos ellos son de diseño hidrodinámico con aletas direccionales, poseen una boquilla de 3/16" que emerge de la cabeza del aparato y una salida

que permite el escape del aire, mientras se toma la muestra. Las diferencias de presiones entre la entrada y la salida se controlan con una válvula. Existe un equilibrador de presiones dentro del cuerpo del aparato, que iguala la presión del aire en el recipiente con la carga hidrostática exterior sobre la boquilla a cualquier profundidad, con lo cual se evitan bruscas velocidades de entrada de las muestras en el recipiente.

El USP-61 (figura N° 5) es de este tipo y se usa en la División de Hidrología del MOP para mediciones en los ríos del sur del país; este es un aparato de 45 Kg. fabricado de bronce en forma hidrodinámica, operado desde la superficie eléctricamente mediante una fuente de 40 voltios, la profundidad límite de muestreo es de 30 metros. La válvula del muestreador se controla mediante un selenoide rotacional el cual lo hace girar hasta dos posiciones variables en 45°. Cuando no se activa el selenoide, la válvula se mantiene en su posición de equilibrio, en esta situación la entrada y salida del aire permanecen cerradas pero cuando se activa el selenoide la válvula se sitúa en posición de muestreo, permitiendo la salida del aire.

Durante su operación, el muestreador se baja a la profundidad deseada y mediante un switch se activa el selenoide durante el tiempo requerido para captar la muestra. Existen tres muestreadores muy similares en diseño y forma de operación al USP-61, son: los USP-46, USP-63 y USP-50, los dos últimos que se diferencian solamente en su mayor peso (200 y 300 lbs. respectivamente), lo que permite emplearlos a profundidades y velocidades mayores.

PROBLEMAS ADICIONALES RELACIONADOS CON EL MUESTREO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION

Algunos de los inconvenientes, las ventajas y desventajas que ofrecen los diferentes tipos de muestreadores de sedimentos en suspensión, han sido descritos anteriormente.

En muchos casos, el carácter mismo de las partículas o un detalle de diseño en el instrumento, es de gran significación para realizar un muestreo adecuado. Cuando se sumerge un muestreador en un flujo, se inducen perturbaciones en el patrón de las velocidades en sus vecindades, estas variaciones se reflejan más activamente sobre el desplazamiento de las partículas.

En la figura N° 6 se ilustra el comportamiento del flujo de la mezcla de agua con partículas en suspensión en las vecindades de un muestreador durante la captación de una muestra.

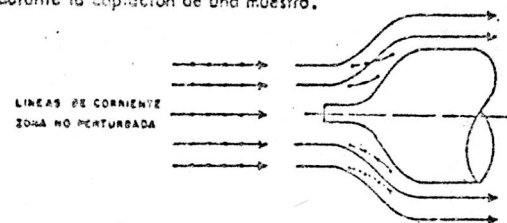
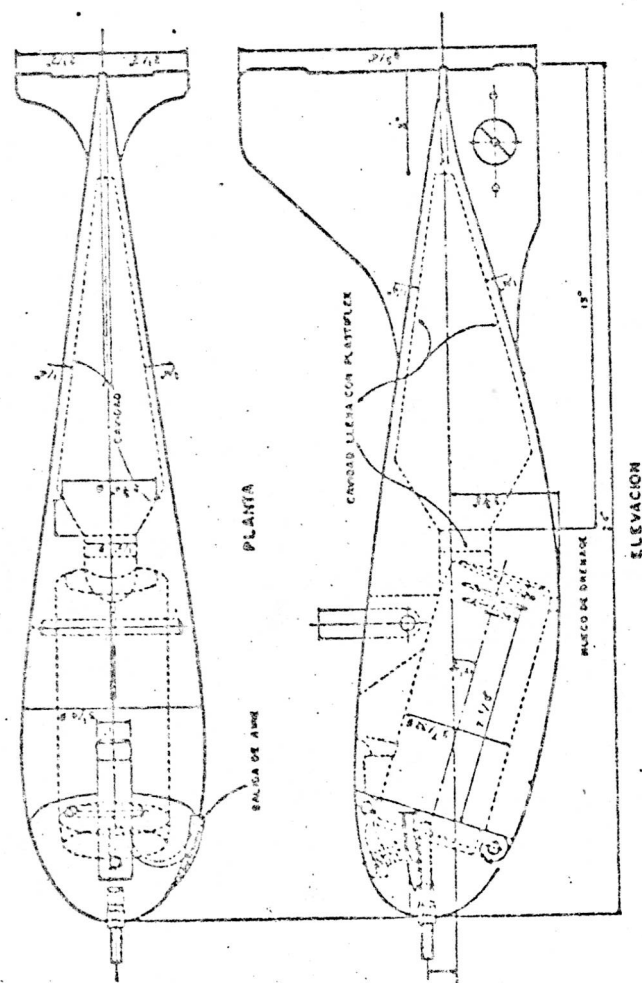


FIG. 6. PATRON DEL FLUJO EN LAS VECINDADES DE UN MUESTREADOR

Las líneas de corriente deflexionan en los cercanos de la cabeza del aparato de su tendencia uniforme en la zona de régimen no perturbado, si se considera el régimen de flujo en las vecindades de la boquilla, cuando las partículas son de tamaño grueso, éstas, debido a su mayor densidad e inercia res-

FIGURA N° 4



MUESTREADOR INTEGRADOR EN LA PROFUNDIDAD U.S.D. - 49

CRITERIOS PARA TOMAR MUESTRAS INTEGRADAS EN UNA VERTICAL

Cuando se toma una muestra integrada en la profundidad, se verifica:

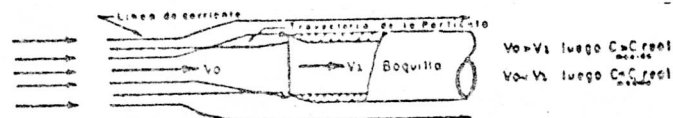
- 1º) Que la rata de descenso o subida del muestreador es uniforme en cada fase.
- 2º) El tiempo de muestreo en un intervalo de la vertical es proporcional a la profundidad recorrida.
- 3º) El volumen obtenido de la muestra en una fracción de la vertical, es proporcional a la profundidad y velocidad en la fracción.

En el gráfico N° 1 se ilustran relaciones adimensionales de las velocidades de tránsito del muestreador a la velocidad media en la vertical (V_t/V_m) respecto a la profundidad usando boquillas de diferentes diámetros y consideran - do máximas y mínimas tasas permisibles de descenso o ascenso del aparato, cuando se desea tomar una muestra de capacidad comprendida entre 350-400 cc. De - be notarse que los máximos o mínimos valores de las ratas de tránsito del muestrea - dor, no deben exceder de 0,4 V_m de esta forma se evitan ángulos excesivos entre la orientación de la boquilla y la dirección normal de la corriente. En el gráfi - co N° 2 se señalan relaciones similares que dan directamente el tiempo de mues - treo, con la velocidad media de la corriente cuando se usan diferentes tipos de boquilla.

La ventaja de obtener muestras integradas es que con una sola de ellas, se define la concentración media de transporte en una vertical, o de

pecto al agua, cambiarán menos rápidamente de dirección de desplazamiento que el agua que sigue la línea de corriente deflectada; es evidente en este caso, que concentraciones superiores a las reales, serían registradas. En la situación contraria, esto es, cuando la velocidad en la boquilla es superior a la velocidad de la corriente exterior, como ocurría en un muestreador que operase por bombeo, el sedimento sobre las líneas de flujo convergen más lentamente que el agua, obteniéndose valores inferiores a la concentración real. Ambas situaciones se ilustran en la figura N° 7

FIG. N° 7. REGIMEN DE FLUJO EN LA BOQUILLA DE UN MUESTREADOR

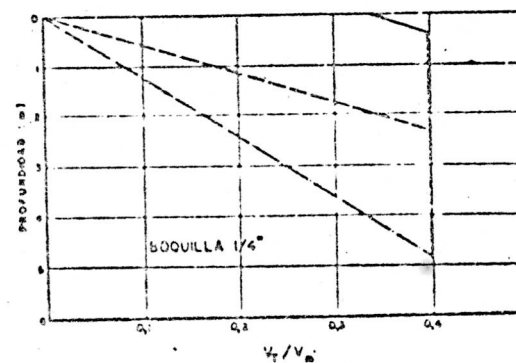
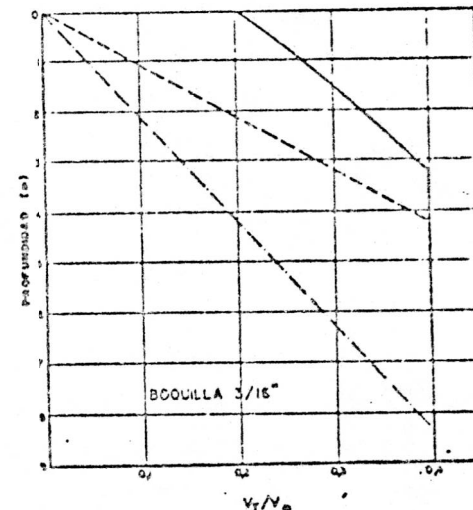
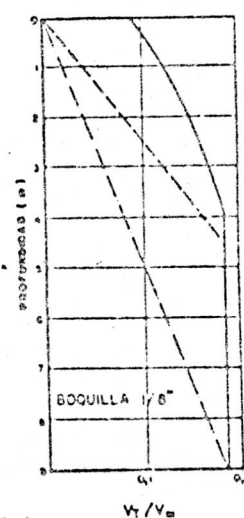


Las experiencias han mostrado que cuando aumenta el porcentaje de partículas con tamaño superior a 0,06 mm., la magnitud de los errores en la determinación de las concentraciones aumenta considerablemente, dependiendo por supuesto, de las relaciones entre las velocidades a la entrada y en el interior de la boquilla.

Los muestreadores de botella tienen el inconveniente de carecer de un sistema regulador de presiones, de tal manera que el agua entra en el envase durante la fase inicial de llenado, a una velocidad que excede considerablemente la de la corriente y a menos que el sedimento sea muy fino, con ($d < 0,02$ mm), podrían obtenerse resultados imprecisos.

RAZONES PERMISIBLES V_T/V_m PARA INTEGRAR EN LA PROFUNDIDAD

- MAXIMA RATA DE DESCENSO (LIMITADA POR LA COMPRESION DEL AIRE)
- MAXIMA RATA DE DESCENSO (LIMITADA POR EL ANGULO)
- RATA MINIMA DE MUESTREO (MUESTREO EN DOS SENTIDOS)
- RATA MINIMA DE MUESTREO (MUESTREO EN UN SENTIDO)



una fracción dada en una vertical de mayor pero limitada profundidad; dos desventajas que son comunes a los otros métodos, es la incapacidad de muestrear cerca del fondo y las inherentes a la imposibilidad de muestrear en profundidades excesivamente altas.

MUESTREOS PUNTUALES EN LA VERTICAL

En casos especiales puede ser necesario conocer la distribución de la concentración en la profundidad, determinar la variación temporal de la concentración en un punto, ó definir la distribución granulométrica del sedimento a diferentes niveles desde el fondo, especialmente si el río transporta material heterogéneo, en estos casos es necesario efectuar muestreos puntuales.

Estos datos también pueden evidentemente ser usados para computar descargas de sedimentos, pero en este último caso, se requiere un mayor número de muestras para cada vertical, lo que hace que sea poco indicado su uso para estos fines. Normalmente en nuestros ríos grandes es necesario, por la limitación impuesta por las elevadas profundidades, usar un Tolt-Binckley para obtener muestras puntuales que se separan a intervalos de un 10% de la profundidad total, efectuándose además mediciones de velocidades en dichos puntos. Existen evidentemente otros criterios para elegir los puntos de muestreo que dependen de la profundidad en la vertical y de los fines que se persiga con los datos. En muchos casos el muestreo a 0,2; 0,6; 0,8 de la profundidad es reco-

mendable para verticales con profundidades no muy grandes de 1 - 1,3 m. Igualmente se toman muestras en la superficie, siguiendo este procedimiento al menos para una vertical en cada aforo, seleccionando la vertical más profunda.

El problema de seleccionar el espaciamiento y número de verticales en una sección, depende básicamente de la seguridad deseada en la medición del sedimento y del mínimo de trabajo, lo que se traduzca en economía.

Existen diferentes alternativas para espaciar o elegir las verticales de muestreo. Una simple vertical en la mayor profundidad para un río pequeño puede ser adecuada; si el río es profundo, la elección en esa zona es lógica, dado que el mayor porcentaje del caudal y por lo tanto del acarreo, se producirá en esa. En Venezuela para la gran mayoría de sus ríos se eligen verticales a 1/4, 1/2, 3/4 del ancho en la sección. Este es un sistema conveniente y práctico como lo señala el informe 14, DETERMINATION OF FLUVIAL SEDIMENT DISCHARGE "...It may be used when distribution of stream discharge is not known. This method provides more information concerning the distributions of sediment and a more accurate sediment discharge than the single vertical method".

Algunos investigadores han sugerido un espaciamiento a 1/6, 1/2, 5/6, esto es recomendable en cauces anchos y con distribuciones uniformes de velocidades, pero en la práctica son raras las secciones de cauces que llenan estos requisitos.

También se han usado varias verticales espaciadas uniformemente en las secciones, este procedimiento es adecuada cuando la concentración de transporte para cada vertical es la compensada respecto a la descarga en la sección representada por esa vertical. Espaciar las verticales sobre centroides de subsecciones con igual descarga en la sección, es el método más preciso, pero en realidad, en el campo no es posible al menos que se evalúe el aforo previamente, identificar sectores con iguales descargas, además, esto se hace normalmente en una forma apreciativa, muy difícil de llegar a resultados precisos si el ancho del río es considerable. Lane ha presentado un método que se fundamenta en distribuir porcentualmente la descarga para diferentes condiciones del río a través del ancho de la sección, de forma que con el valor medio del caudal se tendría la vertical más representativa para el muestreo, este método es muy aconsejable en ríos con mediciones regulares y muy uniformes en su ancho.

FRECUENCIA DEL MUESTREO

La frecuencia del muestreo se define por la periodicidad con la cual se efectúan las mediciones de sedimentos. Numerosas consideraciones deben tomarse en cuenta para recomendar la frecuencia de las muestras en un río. Las primeras, las más importantes, dependen del régimen de escurrimiento del río, lo cual se traduce especialmente sobre la naturaleza del transporte y/o

la rapidez con que se producen los cambios de la concentración.

Muchos ríos en zonas áridas o semiáridas tienen un régimen efímero. El transporte de sus mayores volúmenes de material sólido se produce durante el período de crecientes, lo cual ocurre en un período de tiempo relativamente corto en el año; en estos ríos es aconsejable efectuar muestras sistemáticas de crecientes, tanto en las que ocurren al principio como al final de la época lluviosa.

Dado que muchas crecientes son originadas por tormentas muy intensivas y con cortos períodos de duración, los intervalos de tiempos de muestras deben ser muy cortos (10-15 minutos durante el ascenso y mayores en la recesión de la creciente). Es tan importante el muestreo en caudales bajos como altos, para definir el rango de ocurrencia de la concentración y el transporte para cada condición. En ríos de régimen permanente que tienen un solo ciclo anual en la variación de niveles, los muestreos pueden ser menos frecuentes y espaciados en el tiempo. El caso más general nuestro, es el de ríos que presentan un régimen de crecientes durante el período lluvioso y uno seco de escurrimiento más o menos uniforme (estiaje) correspondiente a caudales bajos. Durante los primeros, se produce el mayor porcentaje del transporte sólido total anual, en estos casos es necesario tomar un suficiente número de muestras que cubran todo el rango de variación de niveles del río, para definir adecuadas relaciones del transporte sólido en suspensión con el caudal líquido. También es necesario intensificar los muestreos cuando se tienen muy pobres correlaciones

entre estas variables, especialmente derivadas de las características anómalas de las precipitaciones, afectando áreas que presentan diferentes ratos de suministro de sedimentos, ya sea por las condiciones y características del suelo, pendientes, cobertura vegetal, etc.

En una misma estación puede presentarse el caso de dos relaciones para el transporte en suspensión (curvas de sedimentación) correspondientes a cada período climático (seco y lluvioso). En el gráfico N°3 se señala el caso del río Chama en Ejiado donde dos curvas para diferentes períodos son claramente discernibles para el año 1961, si no se intensificase en estos casos el muestreo, se tendrían relaciones poco definidas, lo que se traduce en inexactas evaluaciones del transporte sólido anual.

Las muestras de crecientes ameritadas se efectúan tomas, tanto en el ascenso como durante la recesión, espaciando los intervalos de tiempo según las características del transporte.

Un caso especial resulta en ríos cuyas fuentes de sedimentos provienen de materiales glaciáricos y de deslizamientos naturales de grandes masas de suelos, estos eventos, especialmente los últimos, por su carácter extraordinario y ocasional, determinan condiciones extremas del acarreo de sedimentos y deben ser registrados para un mejor conocimiento de las características del transporte en dichos ríos.

El segundo y no menos importante criterio para realizar un mayor número de muestras, depende de los fines de un estudio y la exactitud deseada

TIEMPO DE LLENADO PARA UNA MUESTRA DE 400 cc
CON UN RADIO DE MUESTREO = 1

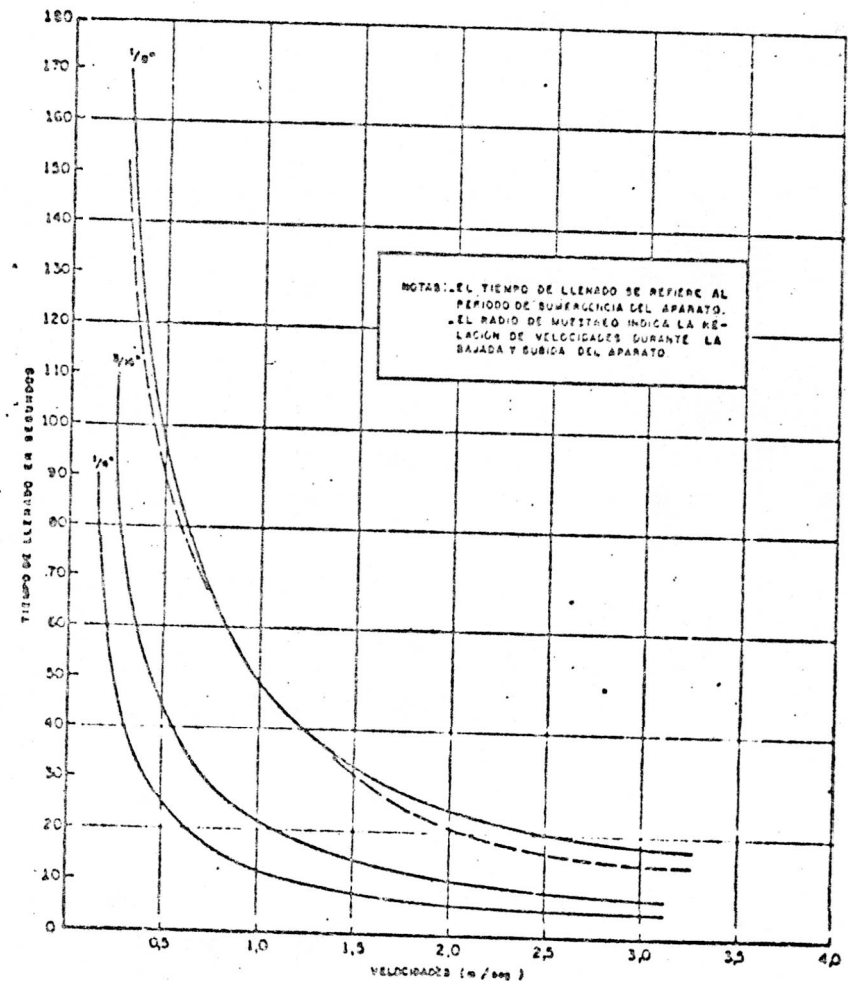
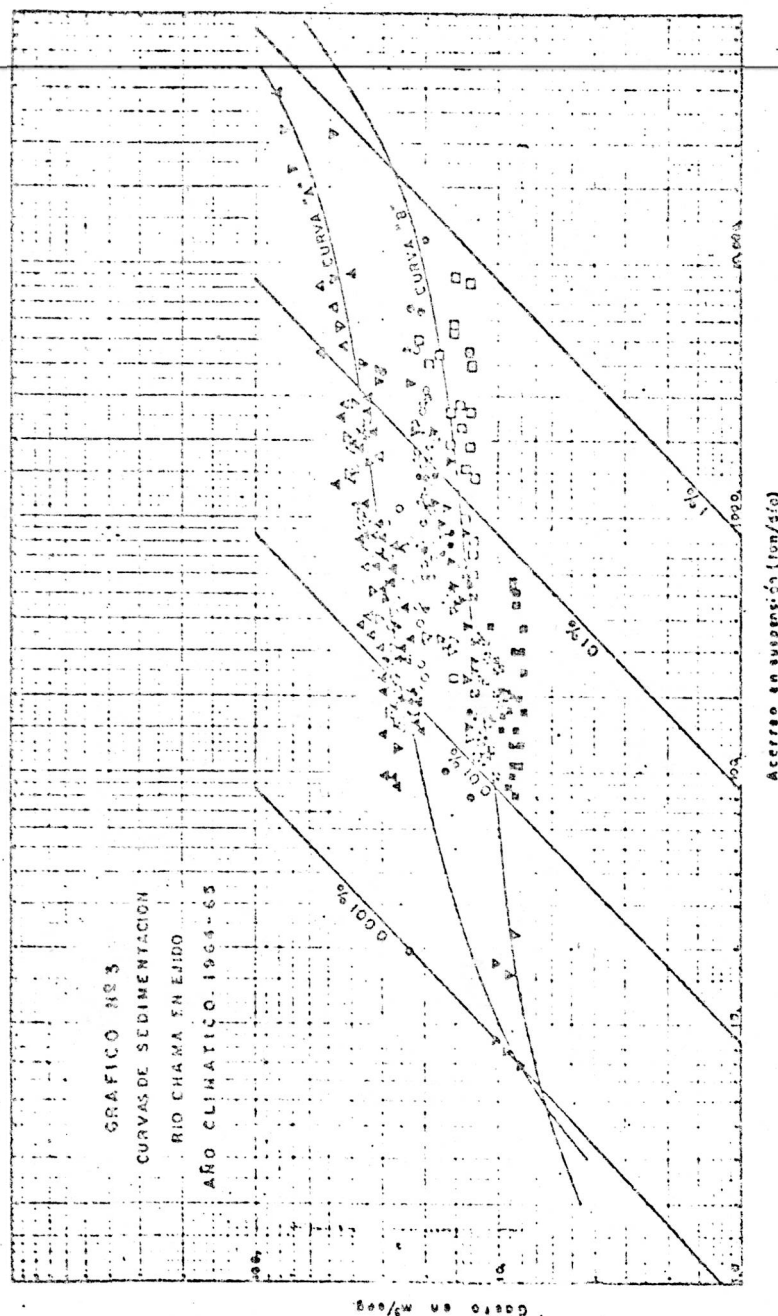


GRÁFICO N° 2



da con los datos. Así, se da el caso de ríos donde no existen records de sedimentación y escurrimientos y está planteada la posibilidad inmediata de aprovechar sus aguas para un embalse, en este caso, es necesario recabar la más precisa y mayor información relacionada con ambos tópicos, en su corto período de tiempo.

ALMACENAMIENTO Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS

La intensificación de las operaciones del muestreo durante el período de crecientes, hace que un excesivo número de muestras se almacenen en una zona, siendo a veces imposible, debido a la dedicación del personal a otras actividades, realizar los análisis de laboratorio durante este período. En estos casos se recomienda el almacenamiento de las muestras debidamente identificadas en un ambiente seco poco iluminado (para evitar el desarrollo de Fitoplankton).

Cuando se realizan muestreos sistemáticos que implican recolección de muestras puntuales e integradas, es conveniente identificar con etiquetas previamente a los recipientes, según el plan propuesto de recolección, esto evita confusiones en la clasificación de las muestras y el trabajo adicional que ello implica, conjuntamente con las operaciones de campo.

Los siguientes datos básicos se recomienda sean estampados en la identificación de cada muestra:

- 1 - Río - Estación y fecha del muestreo
- 2 - Vertical ó verticales señalando el espaciamento de los márgenes
- 3 - Profundidad (es) y tipo de muestra captada (puntual-integrada)
- 4 - Tipo de aparato usado. Nivel de mira en el río
- 5 - Volumen de la muestra (si la botella está aforada) y temperatura del agua
- 6 - Coordinación con otros grupos de muestreo
- 7 - Observaciones generales: estado del tiempo, señalar si existen afluentes aguas arriba causantes de la variación en la concentración, indicar si se han producido perturbaciones en las condiciones naturales de la cuenca aguas arriba. Los observadores deben preparar informes periódicos o a fines del año que describan anomalías sobre el régimen del transporte de sedimentos causadas por eventos naturales o artificiales dentro de la cuenca.

EXPERIENCIAS DE MEDICIONES EN RÍOS DE VENEZUELA

RÍOS RELATIVAMENTE ANGOSTOS Y POCO PROFUNDOS

En la gran mayoría de los ríos menores de Venezuela se emplean muestreadores de diseño hidrodinámico para tomar muestras en suspensión. Esto se acompaña con mediciones del gasto líquido; los sitios de medición son los mismos en cada caso, aprovechando que en general, las secciones se ubican en tramos rectos y uniformes de los cauces, aunque en algunos ríos específicos se producen procesos de degradación o deposición en el lecho que con-

tribuyen a modificar la geometría de las secciones. En los ríos que presentan anchos inferiores a 100 m. y profundidades menores de 10 m., se recomienda elegir el espaciamento de las verticales a $1/4$, $1/2$ y $3/4$ del ancho de secciones. Muestreos puntuales son periódicamente efectuados a cada 10% de la máxima profundidad en la sección para diferentes niveles del río. La frecuencia del muestreo es igual a la de los aforos.

Programas adicionales de muestreos esporádicos realizadas sin hacer mediciones de caudales se efectúan con cierta frecuencia, especialmente en el período lluvioso; éstos contemplan a ríos o tributarios del cauce principal, situados aguas abajo y aguas arriba de las estaciones principales. Se recomienda igualmente el muestreo sistemático de crecientes de importancia. Una muestra integrada se toma en la vertical de mayor profundidad a cada 25% aproximadamente del tiempo de duración del ascenso de la creciente (evaluado de las ocurridas previamente. Durante la recesión el intervalo es mayor y lo selecciona el observador según la disponibilidad de tiempo y según su criterio de acuerdo al comportamiento del transporte y variación de la concentración.

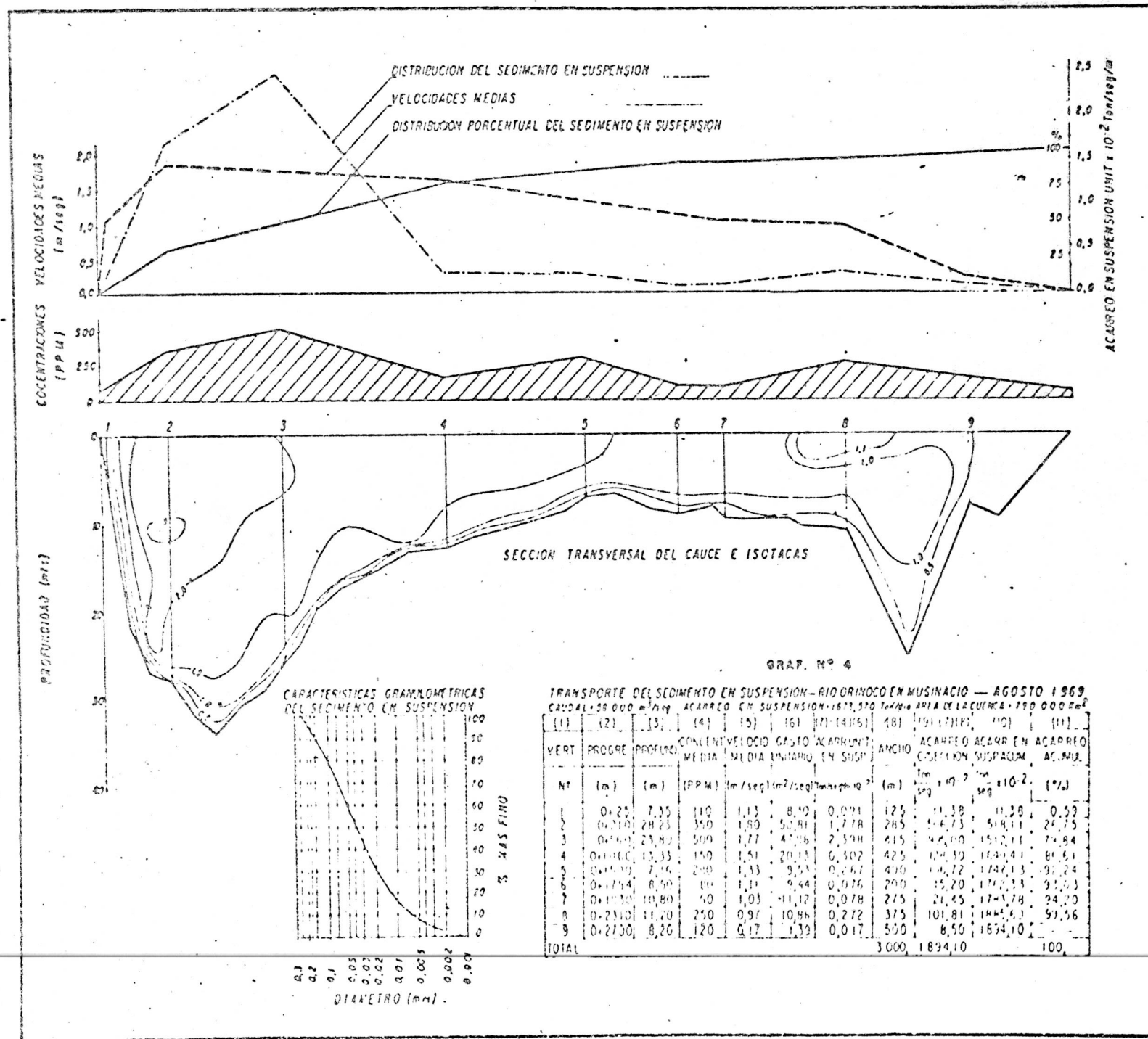
RÍOS GRANDES

Nuestras experiencias en las mediciones fluviales en los grandes ríos del país es relativamente reciente, siendo considerable el avance alcan-

zados en la metodología y técnicas de trabajo. También son varios los problemas que se han presentado especialmente relacionados con la medición del sedimento. En estos ríos: Orinoco, Caura, Cuchivero, Ara, Ventuari, Apure, Meta, Río Negro, etc., de régimen hidrológico anual muy uniforme, lo que favorece condiciones y características del transporte sólido muy estables, de manera que las concentraciones experimentan cambios graduales. Este hecho permite un mayor espaciamiento relacionado con la frecuencia del muestreo, que normalmente se realiza simultáneamente con el aforo, efectuándose de 15-20 mediciones anuales. Las mediciones de sedimentos requieren en otros casos, la adopción de procedimientos muy especiales. En muchas secciones, bajo condiciones de aguas bajas, es factible usar desde lanchones debidamente acondicionados, muestreadores del tipo USD-49 y USP-61. En condiciones de aguas altas, éstos son operados con un equipo automático que registra la profundidad y tiene anexo una fuente de voltaje para facilitar la subida o bajada del muestreador, esto asegura velocidades uniformes de tránsito y permite un menor esfuerzo al operador, cuando son muchas las verticales que se requieren medir.

El lanchón se desplaza uniéndose a una cuerda de nylon fija de una a otra margen para efectuarse el muestreo en las verticales deseadas, en general, se toman además de muestras integradas, muestras puntuales en la margen central o de mayor profundidad en la sección.

Los mayores problemas se presentan en aquellas secciones de excesiva profundidad, en algunos casos se presentan valores superiores a los 50 m. (Orinoco-Puerto Ayacucho) con velocidades puntuales superiores a 2.5 m/seg. lo que hace imposible el uso de aparatos integradores. Aquí la tracción del flujo provoca deflexiones del aparato respecto a la vertical, que originan valores imprecisos de la medición (tanto de la profundidad real, como de la concentración). En estos casos se han efectuado los muestreos puntuales usando el Tot-Binckely a intervalos de 10% de la profundidad, fijo a una pesa de 300 lbs., con la cual se determinan las concentraciones medias. Un problema inicial que debió resolverse parcialmente, colocándole estabilizadores verticales y horizontales al lanchón, fué reducir las oscilaciones producidas por el oleaje. Estos rápidos y continuos movimientos, se reflejaban sobre los instrumentos de medición de velocidades y las boquillas del muestreador perturbando las condiciones reales en el punto. Para ilustrar la forma seguida en la evaluación del transporte sólido en suspensión en una de estas mediciones; se señala en el gráfico N° 4, un cuadro donde se observa la sección del cauce del Río Orinoco en Muzinacio (Edo. Anzoátegui, Venezuela); se ilustra el patrón de velocidades y concentraciones en la sección y la distribución de las velocidades medias. La elección de las verticales en esta caso, se ha hecho con un espaciamiento arbitrario. El acarreo en suspensión para cada sección, se ha computado considerando la concentración media en cada vertical con un área de influencia limitada.



da por dos verticales intermedias a las adyacentes, se ha representado la distribución total y porcentual del acarreo en suspensión en la sección, adicionalmente se dan las características del sedimento suspendido para esas condiciones. Esta forma de presentación da un buen marco de la naturaleza del transporte en la sección, así como una idea para elegir más adecuadamente las verticales de muestreo; así, la vertical que refleja las condiciones medias representativas del transporte en suspensión, se identifica a 550 m. de la margen izquierda, aquí podrían recomendarse mediciones puntuales para diferentes caudales del río.

MUESTREOS Y MEDICIONES EN EL LECHO DE CAUCES

Las mediciones de sedimentos en corrientes fluviales, no están restringidas al sedimento en suspensión únicamente, sino también al que se mueve en el lecho como material deslizante, saltante y rodante y que se denomina carga de sedimento del lecho. Los muestreadores de lecho permiten tomar muestras de ambos materiales sin diferenciar su estado de reposo o movimiento. Aunque el desarrollo de los muestreadores de este tipo, data desde hace muchos años, son menores los avances que se han logrado sobre su perfeccionamiento, quizás por que es realmente más difícil, muestrear en el lecho, o tal vez porque los problemas creados y la magnitud del transporte en suspensión, son más importantes desde muchos puntos de vista.

Los criterios de diseño usados para la construcción de estos instrumen-

tos no son tan diversificados como los usados en los muestreadores de sedimentos en suspensión y la gran mayoría cae dentro de pocas clasificaciones generales. Las mayores e iniciales experiencias con el diseño y operación de instrumentación de este tipo fué desarrollada por ingenieros de diversos países Europeos, últimamente en USA se ha contribuido con mejoras y nuevos diseños, que comienzan a ser usados extensivamente para medir el arrastre de lecho.

FUNCION DE UN MUESTREADOR DE DESCARGA DE MATERIAL DE LECHO

Un muestreador de este tipo, debe idealmente medir la rata de transporte del material de lecho y el tipo representativo del sedimento. La primera no es posible medirla de determinaciones directas de la velocidad y la concentración, tal como ocurre con la determinación del acarreo en suspensión, debido a que el sedimento del lecho no se mueve a la misma velocidad del agua y cerca del fondo, tanto la velocidad como la concentración, varían rápidamente con la profundidad y el tiempo. Además la geometría y forma del lecho y la dificultad de disponerse actualmente de un instrumento adecuadamente diseñado, para efectuar mediciones directas de estos tipos, hacen imposible realizar determinaciones precisas. En resumen, un muestreador de lecho debe ser capaz aparte de las anteriormente citadas propiedades, de orientarse en el flujo sin perturbar sus condiciones naturales, permanecer en una posición estable sobre el lecho, fácil de operar y transportar.

Debido a la imposibilidad de lograr todos estos requisitos, se ha hecho

necesario determinar eficiencias de muestreo para cada instrumento bajo diversas condiciones operacionales.

A la eficiencia de muestreo se define, como la razón de la cantidad de sedimento atrapado en el muestreador durante un intervalo de tiempo dado, a la cantidad de sedimento que habría pasado a través de la sección ocupada por el muestreador, si este no hubiera permanecido allí durante el mismo intervalo, pero este es un coeficiente muy difícil de evaluar realmente en la práctica. Se ha intentado en canales de fondo liso y móvil en laboratorios, evaluar eficiencias de muestreo, pero los resultados obtenidos han sido muy cuestionables, debido a la dificultad de mantener una distribución uniforme del sedimento en la sección y a lo largo del canal, por no lograrse completa similitud en todos los factores implicados durante la prueba y debido a que las condiciones hidráulicas y del transporte en corrientes naturales, difieren grandemente de las obtenidas en los modelos.

TIPOS DE MUESTREADORES DE ACARreo LECHO.

Uno de los más antiguos y quizás el más sencillo de estos muestreadores es el de tipo cesta, el cual fue diseñado por Davis (1898) en los estudios para el Canal de Panamá, este consistía de una caja hecha de un material enrejado. La cara frontal era abierta y las rejillas laterales de la cara posterior, permitían el paso del sedimento fino en suspensión y parte del arrastre del lecho, atrapándose una mayor cantidad del material grueso; el grado de perturbación



FIG. 6 MUESTREADOR POLYAKOV

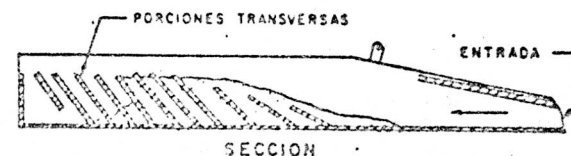


FIG. 9 MUESTREADOR DEL INSTITUTO HIDROTECNICO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

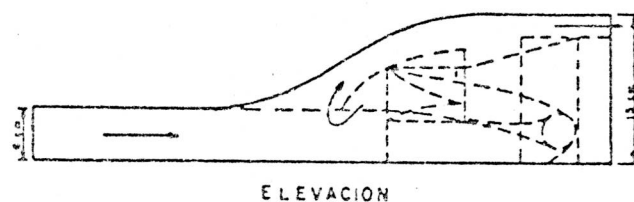
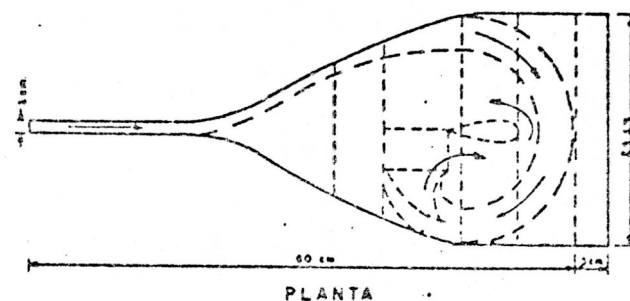


FIG. 11 MUESTREADOR DE ACARreo DE LECHO SPHINX

del flujo era tal, debido a sus grandes dimensiones (70 x 30 x 100 cms), que aguas arriba del muestreador se producía una gran resistencia al flujo reduciéndose las velocidades, lo cual determinaba una menor afluencia del sedimento al muestreador, también durante el ascenso se perdía buena fracción del sedimento más fino.

Las experiencias en el campo mostraron que la eficiencia de muestreo con este aparato, variaba con la rata de transporte del material y tiempo de muestreo. Estos muestreadores por su gran capacidad son muy adecuados para recuperar partículas gruesas, pero esa misma particularidad les hace difícil de operar en el campo.

Los muestreadores tipo Pan, han sido ampliamente usados, especialmente en Rusia. Ellos presentan una forma de cuña en su sección longitudinal (Fig. 8) y se disponen en el lecho de manera que el frente de la cuña permanezca orientada en el sentido de la velocidad de la corriente, así el material transportado se acumula progresivamente en cada una de las separaciones transversales. Mientras que estas originan perturbaciones en el flujo se requiere afectar su calibración, Shamov ha reportado eficiencias de muestreo de 45%.

En los muestreadores de diferencia de presión, la sección transversal se expande para producir una diferencia de presión en la entrada, la caída de presión compensa las pérdidas de energía obteniéndose así una velocidad de entrada y un arrastre de sedimento similares a los del flujo no perturbado. El sedi-

mento se acumula en una sección expandida o sobre una malla situada aguas abajo.

El muestreador usado por el Instituto Hidrotécnico de Investigaciones Científicas (Fig. 9) es similar en el diseño al de Polyakov, Shamov ha encontrado eficiencias de muestreo para éste de 75%. Un muestreador de este tipo, para el cual se citan eficiencias de muestreo de 100% es el "ARNHEM" o "DUTCH" (Fig. 10), el cual posee una entrada rígida que se une mediante una goma a un depósito en forma de malla con 300 mesh de abertura, en esa unión se reduce la sección y se hace divergente aguas abajo de manera que se produce succión en la entrada logrando obtener velocidades similares a las del flujo en su condición natural. Este muestreador ha probado ser útil en la medición de acarreo de lecho con sedimentos de diámetro comprendido entre 0,15-15 mm, si el porcentaje del material fino es muy alto en el sedimento de lecho, puede obstruirse la malla obteniéndose inexactas determinaciones.

Otro muestreador de diferencia de presión últimamente desarrollado por el Laboratorio de Hidráulica de DELFT es el "SPHINX" (Fig. 11), para medir descargas de lecho cuando el material presenta un tamaño en el rango de la arena fina. La boca rectangular del aparato permanece en el lecho y la trayectoria del flujo en su interior se efectúa a través de una espiral de tal forma que a la salida, se produce una reducción de presión con la cual se logra ajustar velocidades de entrada iguales a la de la corriente en el fondo. La reducción de