

Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección Nacional de Regionalización
Agraria
P R O N A R E G

Institut Français de Recherche
Scientifique pour le
Développement en Coopération
O R S T O M

GUIA PARA LA ESTIMACION DEL TRANSPORTE
SOLIDO EN SUSPENSION

Operaciones de campo (sin muestreador)
y de laboratorio

Pierre POURRUT
Ingeniero de investigación ORSTOM

Febrero de 1987

I N D I C E

I - PROLOGO

II - PRINCIPIO DE LAS MEDIDAS

- II.1 - Meta
- II.2 - Unidades utilizadas
- II.3 - Método y principio utilizados
- II.4 - Selección de la sección de medida y de las verticales
- II.5 - Densidad de los muestreos en una misma vertical
- II.6 - Frecuencia de las medidas

III - MATERIAL NECESARIO SEGUN LAS ESTACIONES DE MEDIDA

- III.1 - Material necesario en cualquier caso y numeración de la muestra
- III.2 - Material necesario para las profundidades inferiores a 0,5 m
- III.3 - Material necesario para las profundidades comprendidas entre 0,5 m y 1 m
- III.4 - Material necesario para las profundidades superiores a 1 m.
 - III.4.1 - Muestreo a partir de un puente
 - III.4.2 - Muestreo cuando no existe puente
 - III.4.3 - Descripción de los equipamientos especiales

IV - PROCESO OPERATIVO PARA LOS DIFERENTES MUESTREOS

- IV.1 - Muestreo con un cubo
- IV.2 - Muestreo con dama-juana
- IV.3 - Muestreo con la bomba de mano JAPY

V - OPERACIONES

- V.1 - Material indispensable
- V.2 - Operaciones preliminares
- V.3 - Métodos de la filtración y de la evaporación
 - V.3.1 - Filtración
 - V.3.2 - Evaporación
- V.4 - Operaciones finales

VI - CALCULO DEL CAUDAL SOLIDO

VII - LISTA Y DIRECCIONES DE LOS PROVEEDORES.

I - PROLOGO

Desde los primeros años de la década del 60, los hidrólogos de ORSTOM trabajaron sobre el problema de los sedimentos transportados en suspensión en los ríos africanos. Los primeros ensayos de medida fueron realizados en el Tchad por el Sr. BOUCHARDEAU y en Costa de Marfil por los Srs G. GIRARD, J. COLOMBANI y P. POURRUT. Desde entonces, se realizaron sensibles progresos y se escribieron numerosas publicaciones sobre este tema, con decidida participación de B. BILLON y J.F. NOUVELOT (cahiers Hydrologie de ORSTOM). Por otra parte notables progresos tecnológicos han permitido realizar diferentes tipos de muestreadores más o menos aceptables : "échantillonneur" de NEYRPIC y "automatic samplers" norteamericanos.

La presente nota no tiene la ambición de presentar una metodología nueva sino, luego de un recuento del principio de las medidas, intentar indicar punto por punto las diferentes operaciones que el hidrólogo tiene que realizar, tanto en el campo como en el laboratorio, cuando no dispone de un sistema de muestreo sofisticado.

La elección en cuanto a métodos y material utilizado implica solamente al autor de estas líneas, quien los expone por ser el fruto de su amplia experiencia personal (a veces acompañado de rotundos fracasos), sin destadar la posibilidad de emplear otras metodología y otro instrumental.

II - PRINCIPIO DE LAS MEDIDAS DE TRANSPORTE SOLIDO EN SUSPENSION

II.1 - Meta

Se trata de cuantificar, a través de una sección seleccionada de un río, la cantidad de sedimentos en suspensión que transita durante un periodo determinado (balances diarios, semanales, mensuales o anuales).

II.2 - Unidades utilizadas

Mientras que para el agua estancada se habla únicamente de turbidez o de concentración en g/m³, las unidades utilizadas para los transportes sólidos en suspensión, debido a la analogía con los caudales líquidos y porque interviene la velocidad de la corriente, son la masa por unidad de tiempo (g/s, Kg/s ...).

II.3 - Método y principios utilizados

La medida de los caudales sólidos está íntimamente ligada a la medida de los caudales líquidos y por lo tanto, requiere, primero, de la realización de una buena curva de calibración de las aguas (relación caudal-altura),

A partir de varios muestreos, el método consiste en buscar la turbidez promedia de las aguas que pasan por la sección. El producto de esta en g/m³ y del caudal líquido en m³/s nos proporciona el caudal sólido en g/s.

La dificultad reside en determinar la concentración media. En efecto, como para los caudales líquido, no se puede multiplicar mucho los puntos de medida (para obtener una buena precisión, se admite que hay que recolectar en cada punto 10 l o, como mínimo, 5 l de agua), so pena de tener cargas demasiado pesadas para el transporte y de que las operaciones en el campo y en el laboratorio duren demasiado tiempo. Por lo tanto, hay que escoger muy bien los puntos de recolección de manera a que estos sean representativos de la totalidad de la sección.

En regla general, se procederá de la manera siguiente :

- para las primeras medidas de caudales sólidos en una estación, se debe operar como para un aforo simplificado - Según el ancho de la sección se determina :

- 1 a 8 verticales fijas (párrafo II.4) sobre las cuales se realizan :

. 1 a 5 muestreos según las profundidades (párrafo I.5). En cada punto de recolección se mide igualmente las velocidades que, durante el examen de comprobación, permitirán hacer una corrección (ver cap. VI).

- una vez realizadas varias medidas de transporte sólido (y a condición, claro está, de que la estación sea estable y no presente frecuentes modificaciones del cauce) y que se conoce mejor la repartición de las velocidades y de los transportes a través de la sección, se pueden entonces determinar puntos particulares de recolección, característicos de la turbidez promedia sobre el conjunto de la sección. Entonces, basta con dos o tres muestras, hasta con una sola muestra bien ubicada.

II.4 - Selección de la sección de medida y de las verticales

Generalmente, la sección de medida será la que se utiliza para los caudales líquidos. Tendrá que estar ubicada en una porción del río que sea rectilínea y bien canalizada. Esta última condición es muy importante ya que, como lo vimos anteriormente, las verticales deben estar fijas para limitar los muestreos a dos o tres cuando se conoce bien la sección.

Si la sección de medida está situada debajo de un puente, solo se necesita, como para los aforos, señalar las verticales con pintura.

Cuando no hay puente, se utiliza un doble decámetro o un cable marcado que tiene, obligatoriamente, que ser instalado en el mismo lugar, por ejemplo utilizando dos postes de fijación estables. Se ubican las verticales una sola vez, a partir de una orilla.

El número de verticales varía según el ancho del río y puede ser definido según el cuadro siguiente :

ancho promedio del río	Número de verticales	Lugar de las verticales	E J E M P L O S ancho	Lug. de vertic.
hasta 1,5 m	1	mitad	1,30 m	0,65 m
5 a 20 m	3	1/4 del ancho	12 m	3 m
		1/2 " "		6 m
		3/4 " "		9 m
30 a 100 m	5	1/6 del ancho	87 m	14,5 m
		2/6 " "		29,0 m
		1/2 " "		43,5 m
		4/6 " "		58,0 m
		5/6 " "		72,5 m
más de 100 m	7	1/8 del ancho	120 m	15 m
		2/8 " "		30 m
		3/8 " "		45 m
		1/2 " "		60 m
		5/8 " "		75 m
		6/8 " "		90 m
		7/8 " "		105 m

II.5 - Densidad de los muestreos en una misma vertical

El número de muestreos por vertical depende de la profundidad. Tenemos que admitir que, durante variaciones de nivel, la repartición de las concentraciones sigue siendo más o menos la misma en la vertical. El siguiente cuadro resume el número mínimo de muestras en una vertical, según la profundidad.

Profundidad de vertical	Número de muestreos	Ubicación del muestreo	Sistema de muestreo	EJEMPLO	
				profun. total	lugar de muestreo
hasta 0,50 m	1	superficie y sub-superficie	balde		
hasta 2 m	2	-0,5 m del fondo -superficie	Bomba JAPY dama-juana	3,30 m	- 1,10 m - S
hasta 4 m	3	-0,5 m del fondo -2/3 a partir del fondo - en superficie	Bomba JAPY Bomba JAPY dama-juana	3,30 m	- 2,80 m - 1,10 m - S
hasta 6 m	4	-0,5 m del fondo -1/4 a partir del fondo -2/3 " " - en superficie	Bomba JAPY Bomba JAPY Bomba JAPY dama-juana	5,10 m	- 4,60 m - 3,40 m - 1,70 m - S
más de 6 m	5	-0,5 m del fondo -1/4 a partir del fondo -1/2 " " -3/4 " " - en superficie	Bomba JAPY Bomba JAPY Bomba JAPY Bomba JAPY dama-juana	8,40 m	- 7,90 m - 6,30 m - 4,20 m - 2,10 m - S

(*) Nota : Este cuadro es un intento de normalización. Como tal, puede ser criticado. Para simplificar el trabajo de los hidrólogos, podrá encontrarse en anexo un memento que resume las profundidades de los diferentes muestreos para verticales cuya profundidad varía de 0 a 10 m.

II.6 - Frecuencia de las mediciones

En primer lugar, hay que precisar que la relación unívoca que existe para las estaciones estables entre los caudales líquidos y la altura limnimétrica, no ha sido evidenciada en el caso de los caudales sólidos. Es así como, entre dos crecidas idénticas por su forma y por el volumen de agua transitada, la que tiene lugar al

principio de la estación lluviosa transportará un volumen de sedimentos más importante que la que tiene lugar al final de la estación lluviosa.

Por lo tanto, si se quiere obtener un balance aceptable, hay que realizar medidas frecuentes, en conformidad con las variaciones del caudal. En teoría, para los ríos grandes, bastan una a tres medidas diarias. En el caso de variaciones muy rápidas observadas en los pequeños riachuelos y en las cuencas vertientes de poca superficie, se vuelven necesarias varias series de medidas para cada crecida.

"En la práctica, no es posible realizar con tal frecuencia aforos (sólidos) completos que generalmente duran varias horas. Para los riachuelos pequeños, basta con algunos muestras bien distribuidas en la sección, dejando a un lado las medidas de velocidad. Para los ríos importantes, en la mayoría de los casos, se recolecta una sola muestra diaria en un punto bien definido de la sección".

Esta simplificación preconizada por NOUVELOT también resulta difícil de realizar. Aunque sería muy conveniente poder practicarla, consideramos que solo es posible para un Servicio hidrológico bien equipado (en particular con una gran cantidad de dama-juanas) y para un número muy pequeño de estaciones localizadas a proximidad del laboratorio. El problema se vuelve difícil para las estaciones ubicadas a más de 100 kilómetros de distancia. Toca ser menos exigentes salvo en caso de que se pueda contar con la presencia continua de un hidrólogo y del material de análisis en el lugar, caso desgraciadamente poco generalizado.

Para las cuencas vertientes y los pequeños riachuelos, hay que contentarse con las medidas completas realizadas por el hidrólogo durante sus visitas a la estación; estas últimas tienen que ser más frecuentes durante la estación lluviosa. Generalmente, estas medidas completas se hacen más fáciles cuando el exutorio de las cuencas está equipado con un vertedero o un canal de medida estrecho y suficientemente largo para que las aguas puedan ser consideradas como bien mezcladas y con una carga homogénea. Una sola toma de agua refleja entonces el estado general de la turbidez sobre toda la sección. Pero, como las variaciones del nivel son rápidas, la evaluación del volumen de sedimentos transportados por una crecida, obliga a realizar varios muestreos distribuidos en el tiempo y a diferentes alturas. NOUVELOT propone tres muestreos, uno durante la subida, otro cerca del máximo (preferentemente antes) y el último durante la decrecida. Para las cuencas muy pequeñas y según la forma de la crecida, simple o compleja, nos parece conveniente respetar el cuadro de la página siguiente.

Forma de la crecida	N. de muestras	Repartición del muestreo
SIMPLE	5	- al principio de la crecida - al principio de la subida cerca del maxi - en el maxi - en decrecida, muy cerca del maxi - al final de la decrecida
COMPLEJA (varias puntas)	7 (dos puntas) 9 (tres puntas) 11 (cuatro puntas) 13 (cinco puntas) etc...	2 tomas suplementarias para cada punta : - durante la crecida, cerca del maxi - en el maxi

NOTA : IMPORTANTE : Es indispensable apuntar la altura limnimétrica correspondiente a cada uno de los muestreos o hacer una marca en el limnigrama.

Para las crecidas intermedias no medidas sólo se puede recurrir a la interpolación.

Para los grandes ríos, en estación seca, basta con una medida cada ocho días o cada quince días. En estación lluviosa, se tienen que realizar la mayor cantidad de medidas posibles y, también en este caso, interpolar gracias a los caudales líquidos y a la evolución en el tiempo de las concentraciones promedias.

Insistimos siempre sobre el hecho de que el equipamiento hidrológico de las estaciones tiene que ser completo (grabación del nivel con limnigrafo) y que la curva de calibración tiene que estar perfectamente establecida. De otra manera, consideramos que resultaría utópico intentar hacer cualquier balance del transporte sólido con una precisión aceptable.

III - MATERIAL NECESARIO SEGUN LAS ESTACIONES DE MEDIDA

Siguiendo la evolución del cuadro del párafo II.5, vamos a describir sucesivamente el material indispensable para la realización de las medidas de caudal sólido. El proceso operativo será tratado en el capítulo IV.

III.1 - Material necesario en cualquier caso y numeración de las muestras

- 1 serie de dama-juanas
- 1 caja para el transporte

- corchos para las dama-juanas
- 1 marcador que no se borre con el agua
- 1 cuaderno de apuntes.

Queda definitivamente admitido que, para tener una precisión suficiente con aguas poco cargadas, la cantidad optimal que hay que recoger en cada muestra, tiene que ser de 10 litros o, como mínimo, de 5 litros. Los bidones plásticos presentan ciertos inconvenientes durante las operaciones de laboratorio; por lo tanto, es aconsejable utilizar las dama-juanas que se venden en el comercio (5 l o 10 l según el comercio local). Antes de utilizarlas en el campo, es necesario verificar cuidadosamente su capacidad y marcar de una forma definitiva, en el cuello de la dama-juana, la línea correspondiente al nivel de los 10 l o 5 l para facilitar la recolección del volumen correcto. Estas dama-juanas tienen que poder ser transportadas sin riesgo de que se rompan, lo que implica la fabricación de cajas especialmente adaptadas para este propósito.

Cada dama-juana tiene que estar equipada con una tapa de corcho o de caucho perfectamente hermética para evitar las pérdidas de una parte de la muestra.

El marcador sirve para numerar la muestra recolectada. Se pueden utilizar diferentes sistemas de identificación y de anotación como por ejemplo la simple numeración de las dama-juanas. Sin embargo, para evitar cualquier confusión, aconsejamos que se apunte el máximo de datos en la dama-juana al momento de la recolección. Se recomienda la utilización de un marcador que no se borre con el agua o con la fricción pero que se pueda borrar con alcohol (tipo ONYX MARKER).

Para los grandes ríos, la anotación abarcará :

- el indicativo de la estación
- la altura leída en la escala
- la fecha de la recolección
- la distancia de la vertical
- la profundidad de toma

Ejemplo 1 : To 1,37 - 060385 - 30 - 2,20 =

Recolección en la estación de Toachi para una altura limnimétrica de 1,37 m, realizada el 6 de marzo de 1985 en la vertical 30 metros y a 2,20 m de profundidad.

Ejemplo 2 : Dp 0,63 - 270282 - 18 - S

Recolección en la estación de Dos Puentes para una altura en la escala de 0,63 m, realizada el 27 de Febrero de 1982 en la vertical 18 metros y en la superficie.

Para las cuencas vertientes, la anotación abarcará :

- el indicativo de la cuenca
- la fecha de la recolección

- el orden cronológico de la toma
- la indicación de crecida (S), decrecida (B) o máximo (M)
- la altura leída en el limnómetro

Ejemplo 1 : Banchal 180381 - 1 - S - 0,12

Recolección realizada en la cuenca del río Banchal el 18 de marzo de 1981, primera muestra, en crecida, en la altura 0,12 m.

Ejemplo 2 : Tinto 270383 - 3 - M - 0,33

Recolección realizada en el río Tinto - puente carretera - el 27 de marzo de 1983, tercera muestra, al máximo, en la altura 0,33 m.

Se puede reprochar a este sistema ser muy largo, sin embargo, es relativamente sencillo y, en todo caso, evita mezclar las muestras.

III.2 - Material necesario para las profundidades inferiores a 0,5 m

- el material descrito en el párrafo III.1
- 1 cubo de zinc o de plástico de aproximadamente 10 litros
- 1 embudo con bordes anchos
- 1 varillita de vidrio para mezclar

III.3 - Material necesario para las profundidades comprendidas entre 0,5 m y 1 m

No se necesita ningún material particular a parte del descrito en el párrafo III.1. Sin embargo si no se trata de un exutorio en el cual el agua está perfectamente movida (río natural bastante ancho) hay que proveer el material necesario para la medición de las velocidades :

- 1 varilla
- 1 molinete
- 1 alambre para contactos eléctricos
- 1 contador de impulsiones
- 1 libreta de aforos

III.4 - Material necesario para las profundidades superiores a 1 m

Pueden presentarse dos caso, según si se realizan las medidas desde un puente o desde un barco.

III.4.1. - Muestreo a partir de un puente :

- 1 soporte con polea DTT o una plancha equipada (III.4.3)
- 1 torno NEWA
- 1 escandallo de 25 kg NEYRPIC u DTT con contacto de fondo
- 1 bomba de mano JAPY
- algunos metros de manguera plástica adaptables a la bomba
- 1 molinete
- 1 contador de impulsiones
- el material del párafo III.1

III.4.2 - Muestreo cuando no existe puente

- 2 fijaciones estables e imuables, una en cada orilla
- 1 cable de travesa con escala
- 1 Zodiac Mark II o III o una lancha muy estable
- 1 soporte con polea o preferentemente una tabla equipada (III.4.3)
- 1 torno NEWA
- 1 escandallo de 25 kg Neyrpic con contacto de fondo
- 1 bomba de mano JAPY equipada con mangueras
- 1 molinete
- 1 contador de impulsiones
- el material del párafo III.1

III.4.3 - Descripción de los equipamientos especiales

La bomba JAPY utilizada es del modelo BH.154 E.SP 20/27 N.2. Funciona a mano gracias a una palanca, es sólida, abulta poco y es fácil de utilizar. Solo se tiene que poner la extremidad de la manguera de aspiración a la profundidad requerida, luego bombear y recoger el agua en la dama-juana gracias a la manguera de salida.

Para colocar la manguera de aspiración en la profundidad exacta, se utiliza un escandallo NEYRPIC de 25 kg con contacto de fondo y un torno NEWA-DTT para medir las velocidades.

Aconsejamos un montaje extremadamente sencillo (ver figura 1) que consiste en instalar, en paralelo, en una tabla en diagonal sobre un Zodiac, el soporte de origen del torno y un soporte para la bomba. Este último está hecho de un UPN 80 de 0,42m de alto; en la base de 0,25 m de largo se hacen 2 huecos y se añaden lateralmente dos patas de hierro laminado también ahuecadas para asegurar una fijación en cruz (ver fig. 2). En la parte alta del soporte, un larguero de 0,24 m, en UNP 80, permite fijar la bomba JAPY.

Las mangueras utilizadas están hechas de tricofuel y tienen un diámetro interior de 25 mm. Están equipadas, en cada extremidad de un tubo metálico de 0,30 m. El de la manguera de salida es recto y permite llenar la dama-juana más fácilmente. El tubo de la manguera de aspiración está doblado en aproximadamente 150 grados y fijado al escandallo por una varilla metálica. La distancia entre la boca de aspiración del tubo y la base del contacto de fondo del escandallo es de 0.50 m lo que permite realizar fácilmente la recolección de fondo (par. III.5).

IV - PROCESO OPERATIVO PARA LOS DIFERENTES MUESTREOS

Luego de haber revisado el material necesario a los diferentes muestreos según la profundidad de las verticales, pasamos a describir la forma en que hay que operar para realizarlos.

IV.1 - Muestreo con un cubo

Para profundidades muy pequeñas, inferiores a 0,50 m, la experiencia desarrollada en Madagascar sobre la cuenca vertiente de Tafaina a mostrado que el error existente entre dos sistemas de recolección diferentes (cubo y toma con un aparato sofisticado) era ínfimo.

Para realizar un muestreo con un cubo basta con hundir este último en la corriente, con la apertura dirigida río arriba, cuidándose de no tocar el fondo para no recoger una parte de los transportes por saltación y por arrastre. Antes de verter el contenido del cubo en la dama-juana utilizando el embudo, hay que realizar un movimiento de rotación o utilizar una varillita de vidrio para remover el agua y así evitar los depósitos.

NOTA : Es preferible llenar la dama-juana en varias etapas

IV.2 - Muestreo con dama-juana

En cuanto la profundidad lo permite, es preferible realizar el muestreo con la dama-juana. En efecto, la precisión es muy buena (del orden de 0,6 % según BILLON).

Solo se necesita depositar la dama-juana en el agua, con el cuello dirigido río arriba y hundirla progresivamente mientras se va llenando hasta aproximadamente 0,50 m de profundidad. El excedente se derramará inmediatamente o se completará con el agua de la superficie.

IV.3 - Muestreo con la bomba de mano JAPY

Se utiliza el montaje del párrafo III.4 o cualquier otra instalación similar, considerando que el orificio de toma de agua está situado a 0,50 m de la base del contacto de fondo y que el molinete se encuentra instalado. Recordamos que si el

escandallo utilizado es un NEYRPIC, la distancia entre el eje del molinete y el contacto de fondo, al momento de la desconexión, es de 0,30 m (0,20 m con un escandallo OTT).

Cuando el Zodiac está perfectamente parado y el alambre electroportador del NEWA está ubicado exactamente sobre la vertical de medición, se procede de la siguiente manera :

medida del fondo : 1 - regular el 0 del NEWA según la base del contacto de fondo.

2 - hacer bajar el escandallo hasta que suene indicando el fondo - Apuntar la profundidad y si existe una fuerte corriente, apuntar el ángulo del cable para una eventual corrección de la profundidad.

3 - levantar ligeramente el escandallo hasta que termine de sonar.

4 - hacer funcionar la palanca de la bomba JAPY y, luego de dejar correr el agua durante un minuto aproximadamente, llenar la dama-juana.

5 - subir el escandallo de 0,20 m y realizar una medida de velocidad (0,30 m si se trata de un escandallo OTT).

6 - efectuar el cálculo preconizado en el párrafo II.5 (ex: fondo a 5,10 m, 2do muestreo a 3,40 m, 3er muestreo a 1,70 m, 4to muestreo en la superficie) o consultar el cuadro presentado en anexo.

medidas intermediarias :

1 - añadir 0,50 m a las profundidades calculadas anteriormente (3,40 m = 3,90 m y 1,70 m = 2,20 m) o consultar el cuadro en anexo.

2 - subir el escandallo hasta la profundidad requerida.

3 - bombear y dejar salir el agua durante un minuto antes de llenar la dama-juana

4 - volver a subir el escandallo de 0,20 m y realizar la medida de velocidad (0,30 m para un escandallo OTT).

medidas de superficie :

En realidad, esta medida se hace a 0,10 m o 0,20 m de profundidad. Proceder como indicado en el párrafo IV.2 y medir la velocidad a 0,10 m.

V - OPERACIONES DE LABORATORIO

Las muestras recolectadas tienen que ser llevadas al laboratorio y tratadas en el menor plazo posible. Se pueden escoger dos métodos : la filtración o la evaporación, ambas presentan sus ventajas y sus inconvenientes. El procedimiento por filtración es más sencillo pero para las aguas poco cargadas (concentración inferior a 50 g/m³) el procedimiento por evaporación da resultados más precisos.

En la figura N°3, presentamos un resumen de las manipulaciones sucesivas que hay que realizar. Las operaciones preliminares y finales son las mismas en los dos casos.

V.1 - Material indispensable

- 10 l de ácido clorídrico N/10
- 5 pipetas de 5ml, ref. PROLABO 09.252.14
- 1 propipeta universal en forma de pera , ref. PROLABO 08.343.00
- 1 dispositivo de sifón que comprende una varillita rígida de 50 cm en la cual está fijado, a 3 cm de su base, un tubo que sirva de sifón con un diámetro pequeño (el tubo plástico de los limnigrafos NEYRPIC Telimnip sirve perfectamente) terminado por un tubo de cristal o de latón (tubo de desfogue de radiador por ejemplo) doblado de 1 cm hacia la parte de arriba.
- 2 frascos desecadores de cristal de 250 mm de diámetro, ref. PROLABO 00.445.25
- 4 desecadores perpetuos actigel, ref. PROLABO 08.269.00
- 1 tanque de agua destilada
- 2 pisetas de enjuague de 500 ml, ref. PROLABO 08.379.54
- varios embudos cónicos de 160 mm de diámetro, con varilla corta, ref. PROLABO 09.246.16
- varios paquetes de filtros plisados, ref. PROLABO 08.322.75
- 10 bechers de forma alta de 1000 ml, ref. PROLABO 09.071.66 para la filtración
- 20 bechers de forma baja de 600 ml, ref. PROLABO 09.070.52 para la evaporación
- 1 placa eléctrica
- varias placas de amianto
- 1 estufa, por ejemplo estufa modelo pequeño, ref. PROLABO 03.421.02
- 1 balanza, si posible con lectura directa y de precisión 0,1 mg, por ejemplo METTLER H 311. (En este caso se necesita electricidad).
- 1 habitación transformada en laboratorio con agua corriente y mesones de trabajo.

V.2 - Operaciones preliminares

Las operaciones preliminares son la floculación, la decantación y el sifonage. La floculación se realiza con 5 cc de ácido clorídrico N/10 vertidos en una dama-juana de 10 litros con una pipeta graduada. Luego de que se haya mezclado y después de un reposo de 24 h a 48 h, los sedimentos se depositan en el fondo y, en la parte superior, el agua tiene que ser perfectamente clara.

Se procede entonces al sifonage. Para esto, se utiliza el montaje preconizado en el párrafo V.1 prestando atención en no mover la dama-juana y en respetar el tiempo de reposo de algunos minutos después de haber depositado el sifón cuya instalación siempre provoca una puesta en suspensión de

algunos depósitos. El final de la operación tiene que ser observado por transparencia con mucha atención: al observar cualquier transporte, se tiene que sacar inmediatamente el sifón. Aunque provoque un error suplementario, en caso de que el volumen sobrante sea demasiado importante, es mejor trasvasar este líquido en un recipiente más estrecho y esperar una nueva decantación para volver a emprender el sifonage.

V.3 - Metodos de la filtración y de la evaporación

Salvo cuando tenemos que tratar cargas sólidas muy pequeñas, es preferible utilizar la filtración porque lo que se gana en precisión al utilizar la evaporación nos parece insignificante en comparación con los errores que las manipulaciones anteriores han podido provocar.

V.3.1.- Filtración

Se ha reservado un recipiente de desecar para los filtros. Se saca uno de ellos y se lo pesa inmediatamente. Se apunta enseguida el N° de la muestra y el peso del filtro P1 en una libreta destinado a este efecto y sobre el mismo filtro. Luego se vierte directamente, pero con precaución, el residuo depositado en la dama-juana en un embudo recubierto del filtro y se recoge lo filtrado en un becher. El fondo y las paredes de la dama-juana tienen que ser enjuaguados meticulosamente con una piseta de agua destilada. Si el agua recogida después de la filtración está turbia, se la vuelve a filtrar hasta que esté perfectamente clara.

V.3.2 - Evaporación

En este caso, se trasvasa el residuo de la dama-juana en un becher que tenga un volumen y un peso suficientemente pequeños para poder ser puesto en la estufa y no sobrepasar la capacidad de la báscula. Si hay demasiado residuo, tenemos que proceder a una o dos decantaciones y sifonages suplementarios sin olvidar enjuagar los diferentes recipientes sucesivos. El becher definitivo tiene que ser previamente pesado y tiene que llevar apuntados su peso P1 y el N° de la muestra. Se lo pone entonces encima de una placa eléctrica o una hornilla para evaporar la fracción la más importante del agua. No se debe hacer hervir a borbotones por las posibles proyecciones y el fondo del becher tiene que ser protegido con una placa de amianto.

V.4 - Operaciones finales

Con cualquiera de los métodos utilizados, las operaciones finales son idénticas: paso por la estufa, desecación y peso.

Los filtros y los bechers, bien identificados y que contienen un residuo todavía húmedo, están puestos en la estufa a 105° - 110° C durante unas doce horas. Se los pone después en un recipiente de desecar para que se enfríen mientras el gel de silicio impide la rehidratación. Cuando la temperatura ha bajado a aproximadamente 20° C, se procede a pesarlos. Esta operación es la más delicada ya que tiene que transcurrir el menor tiempo posible entre la sacada del desecador y la lectura del peso P2 (filtro o becher + residuo seco) para evitar que el conjunto se rehidrate. Esta es la razón por la cual preconizamos la utilización de una báscula con lectura directa con la cual se puede pesar en menos de 20 segundos.

$$\text{Peso de la muestra} = P2 - P1$$

VI - CALCULO DEL CAUDAL SOLIDO

El cálculo es sencillo cuando, una sola muestra (exutorios canalizados de las pequeñas cuencas vertientes) o el promedio de 2 o 3 muestras (estaciones ya conocidas) representan la concentración promedia en toda la sección.

Es así como, por ejemplo :

Peso de la muestra (recolección de 10 l) = 0,275 g
Turbidez : 27,5 g/m³
Caudal líquido (altura observada y curva de calibración) : 8,35 m³/s
Caudal sólido : 27,5 x 8,35 = 229,63 g/s

Cuando se han recolectado varias muestras sobre diversas verticales, se procede como para una medida de caudal líquido pero el trazado de las "parábolas" ya no se hace a partir de las velocidades en m/s sino a partir del producto velocidad (en m/s) y concentración (g/m³). Estos productos unitarios son en g/m/s y por integración a lo largo de la sección (en m) se llega a la unidad final : el g/s

Paralelamente, se tiene que estudiar el aforo incompleto obtenido gracias a las medidas de las velocidades. El caudal Q1 obtenido, comparado con el caudal Q2 de la curva de calibración, nos proporciona un factor de corrección K = Q1/Q2 que se puede entonces aplicar al caudal sólido.

Presentamos a continuación un ejemplo concreto de los datos que hay que apuntar y de la depuración que hay que realizar :

- 1 - Río : Machángara
- 2 - Estación : Dos Puentes
- 3 - Fecha : 11 de marzo de 1983
- 4 - Altura en el limnómetro : 1,60 m
- 5 - O.Iz. = 0 m O.D = 30 m Ancho L = 30 metros
- 6 - Elección del número de verticales (cap.II.4) = 5

7 - Elección de su ubicación (cap. II.4)

V1 = 1/6 L = 5 m
 V2 = 2/6 L = 10 m
 V3 = 1/2 L = 15 m
 V4 = 4/6 L = 20 m
 V5 = 5/6 L = 25 m

8 - Elección del número y de la ubicación de los muestreos (cap. II.5)

Vertical	Profundidad total	Nº de muestras	Lugar de los muestreos	Nº de la muestra
V1 = 5 m	0,30 m	1	0,10 m (superf.)	Dp 1,60-110375-5-Sp
V2 = 10 m	3,00 m	3	2,50 m de prof.	Dp 1,60-110375-10-2,50
			1,00 m "	Dp 1,60-110375-10-1,00
			0,10 m (superf.)	Dp 1,60-110375-10-Sp
V3 = 15 m	4,50 m	4	4,00 m de prof.	Dp 1,60-110375-15-4,00
			3,00 m "	Dp 1,60-110375-15-3,00
			1,50 m "	Dp 1,60-110375-15-1,50
			0,10 m (superf.)	Dp 1,60-110375-15-Sp
V4 = 20 m	3,30 m	3	2,80 m de prof.	Dp 1,60-110375-20-2,80
			1,10 m "	Dp 1,60-110375-20-1,10
			0,10 m (superf.)	Dp 1,60-110375-20-Sp
V5 = 25 m	0,35 m	1	0,10 m superf.	Dp 1,60-110375-25-Sp

9 - Cálculo del producto velocidad x turbidez

Nº muestra	Peso/10 l	Concentración	Velocidad	Producto vel.
	g	g/m ³	medida m/s	turb. g/m ² /s
Dp 1,60-110375-5-S	0,0511	5,11	0,257	1,313
Dp 1,60-110375-10-2,50	0,1235	12,35	0,462	5,706
" " " " 1,00	0,1124	11,24	0,524	5,890
" " " " S	0,1089	10,89	0,560	6,098
Dp 1,60-110375-15-4,00	0,1184	11,84	0,444	5,257
" " " " 3,00	0,1105	11,05	0,532	5,879
" " " " 1,50	0,1094	10,94	0,560	6,126
" " " " S	0,1080	10,80	0,572	6,178
Dp 1,60-110375-20-2,80	0,1042	10,42	0,420	4,376
" " " " 1,10	0,0963	9,63	0,512	4,931
" " " " S	0,0987	9,87	0,520	5,132
Dp 1,60-110375-25-S	0,0781	7,81	0,213	1,664

10 - Resultados

La figura nº4 da un resumen de las diferentes operaciones gráficas que hay que realizar. En el ejemplo escogido :

- el caudal líquido, según el aforo simplificado ejecutado únicamente con las velocidades medidas en los puntos de recolección, es de 30,0 m³/s

- el caudal líquido, según la curva de calibración, es de 32,7 m³/s

- el coeficiente de corrección $K = 32,7/30 = 1,09$

- el caudal sólido medido es de 330 g/s pero si se le aplica el coeficiente de corrección alcanza 360 g/s.

VII - LISTA Y DIRECCIONES DE LOS PROVEEDORES

OTT (molinete - varillas) Ste WILD
86 Avenue du 18 Juin 1940
B.P. 107
92504 RUEIL MALMAISON
FRANCIA

NEYRPIC (escandallo - varillas) ALSTHOM Division NEYRPIC
rue Général Mangin
B.P. 75
38041 GRENOBLE CEDEX
FRANCIA

JAPY (Bombas - mangueras) JAPY-MARNE S.A.
4 rue de Marignan
75008 PARIS
FRANCIA

PROLABO (estufa-cristalería-productos químicos) PROLABO (*)
12, rue Pelée
75011 PARIS
FRANCIA

METTLER (Báscula eléctrica) METTLER Instruments AG
CH-8606
GREIFENSEE - ZURICH
SUIZA

(*) Nota Para el material de laboratorio y los productos químicos se puede recurrir a O.S.I.
141, rue de Javel
75739 PARIS CEDEX 15

TRANSPORTES SOLIDOS EN SUSPENSION

MEMENTO de las profundidades de los muestreos intermedios según la profundidad de la vertical.

- Recuerdo :** de 0 a 1 m : 1 solo muestreo en superficie (prof. real = 0,20 m)
de 1,00 a 2,05 m : 1 muestreo en superficie (prof. real = 0,20 m)
 1 muestreo al fondo (prof. real = prof. total - 0,50 m)
más de 2,05 m : 1 muestreo en superficie (prof. real = 0,20 m)
 1 muestreo al fondo (prof. real = prof. total = 0,50 m)
 1 o varios muestreos intermedios (ver a continuación)

Nota : 0 del torno = base del contacto del fondo

: PROFUNDIDAD TOTAL :	MUESTREOS INTERMEDIARIOS	
: leída en el torno :	: leída en el torno :	: profundidad real :
2,06 a 2,25 m	1,90	1,40
2,26 a 2,45	2,10	1,60
2,46 a 2,65	2,20	1,70
2,66 a 2,85	2,30	1,80
2,86 a 3,05	2,50	2,00
3,06 a 3,25	2,60	2,10
3,26 a 3,45	2,70	2,20
3,46 a 3,65	2,90	2,40
3,66 a 3,85	3,00	2,50
3,86 a 4,05	3,10	2,60

4,06 a 4,25	1,55	1,05
4,26 a 4,45	3,30	2,80
4,46 a 4,65	1,60	1,10
4,46 a 4,65	3,40	2,90
4,46 a 4,65	1,65	1,15
4,66 a 4,85	3,50	3,00
4,66 a 4,85	1,70	1,20
4,86 a 5,05	3,70	3,20
4,86 a 5,05	1,75	1,25
5,06 a 5,25	3,80	3,30
5,06 a 5,25	1,80	1,30
5,26 a 5,45	3,90	3,40
5,26 a 5,45	1,85	1,35
5,46 a 5,65	4,10	3,60
5,46 a 5,65	1,90	1,40
5,66 a 5,85	4,20	3,70
5,66 a 5,85	1,95	1,45
5,86 a 6,05	4,30	3,80
5,86 a 6,05	2,00	1,50
5,86 a 6,05	4,50	4,00

PROFUNDIDAD TOTAL leida en el torno	MUESTREOS leida en el torno	INTERMEDIARIOS profundidad real
6,06 a 6,45 m	2,10	1,60
	3,70	3,20
	5,30	4,80
6,46 a 6,85	2,20	1,70
	3,90	3,40
	5,60	5,10
6,86 a 7,25	2,30	1,80
	4,10	3,60
	5,90	5,40
7,26 a 7,65	2,40	1,90
	4,30	3,80
	6,20	5,70
7,66 a 8,05	2,50	2,00
	4,50	4,00
	6,50	6,00
8,06 a 8,45	2,60	2,10
	4,70	4,20
	6,80	6,30
8,46 a 8,85	2,70	2,20
	4,90	4,40
	7,10	6,60
8,86 a 9,25	2,80	2,30
	5,10	4,60
	7,40	6,90
9,26 a 9,65	2,90	2,40
	5,30	4,80
	7,70	7,20
9,66 a 10,05	3,00	2,50
	5,50	5,00
	8,00	7,50

Se tienen que medir las velocidades a 0,30 m más arriba con un escandallo OTT y 0,20 m más arriba con un escandallo NEYRPIC.

Fig. N° 1

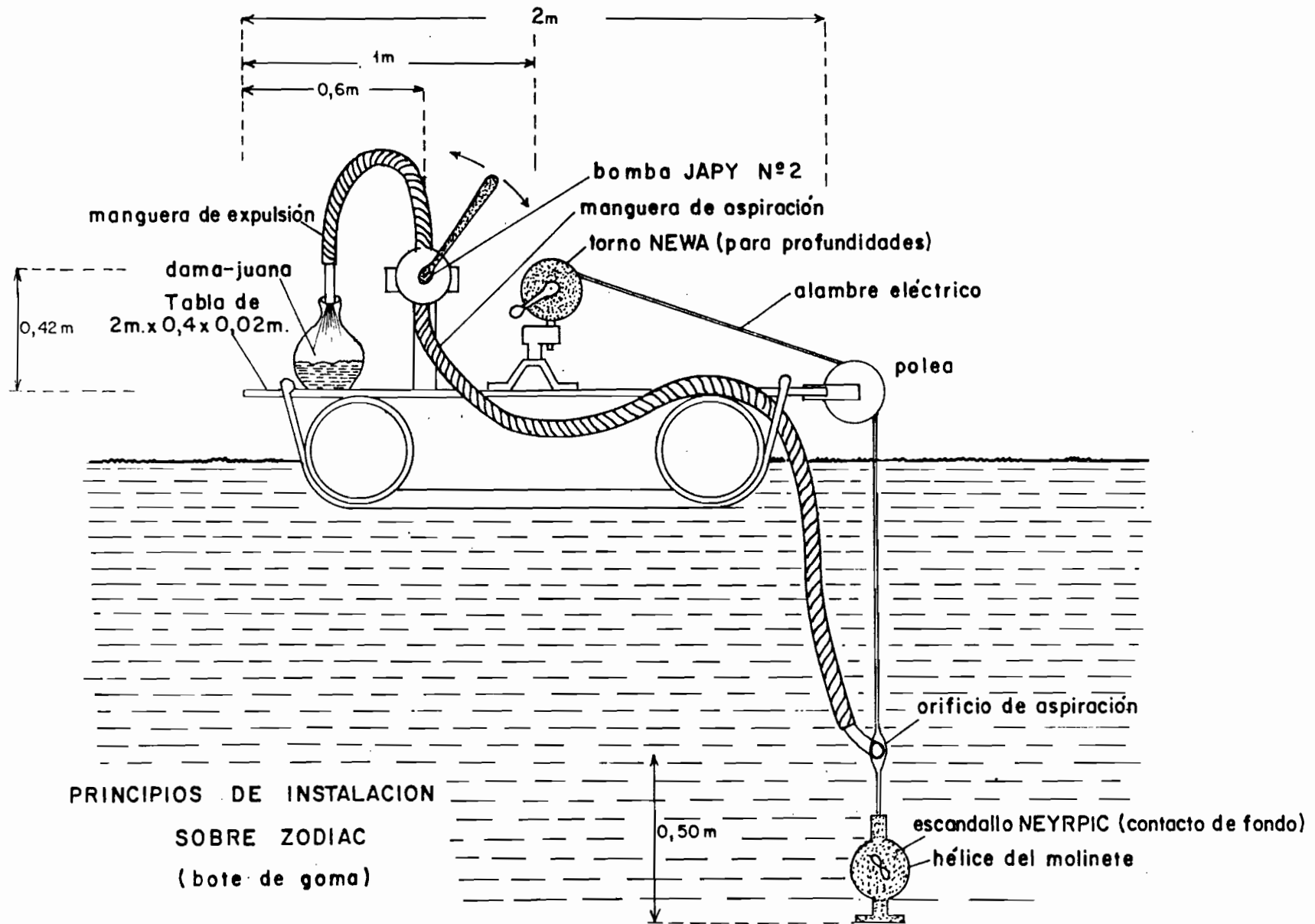
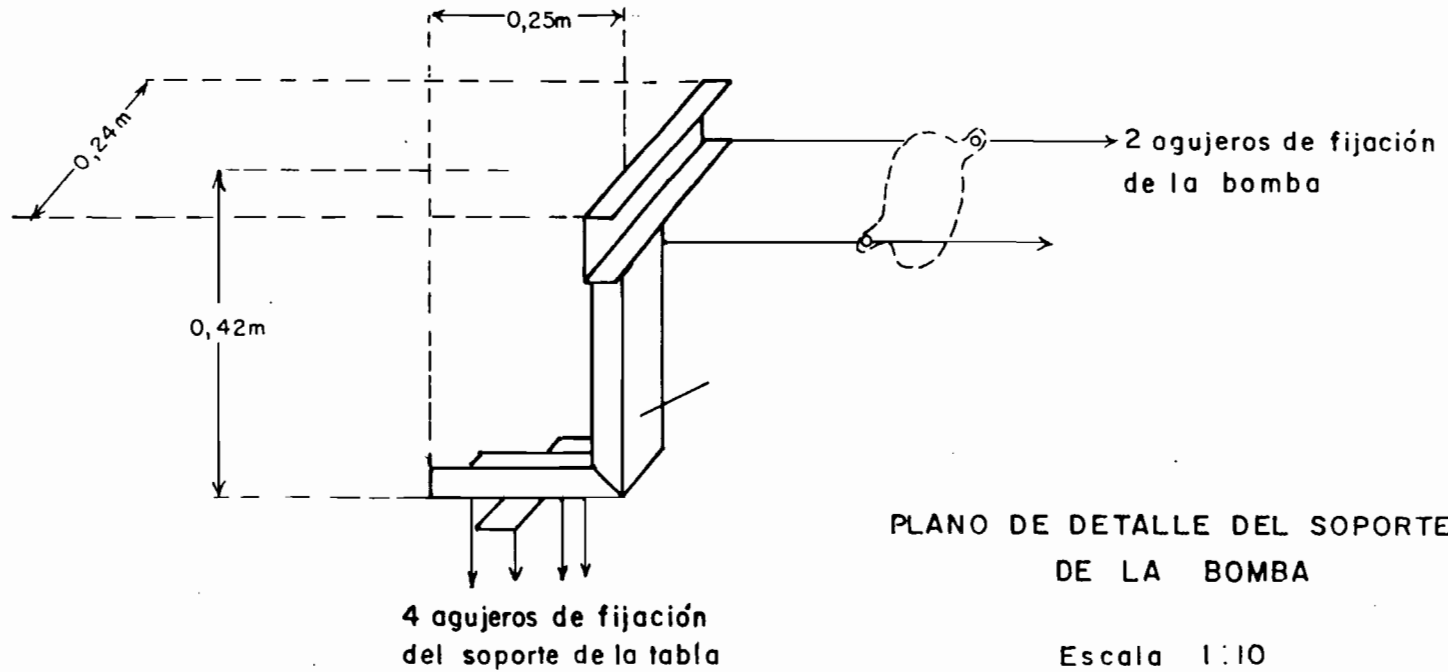
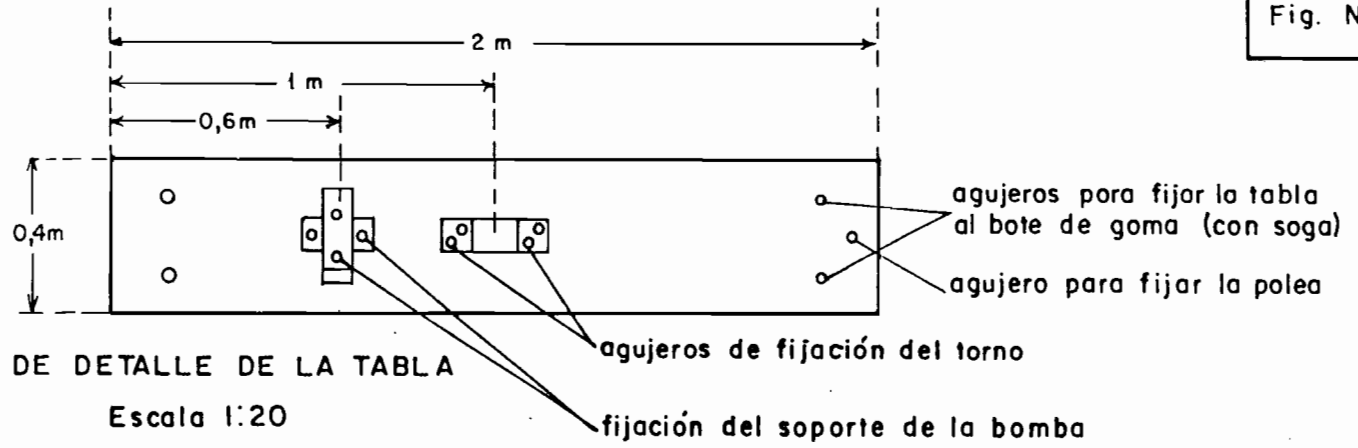
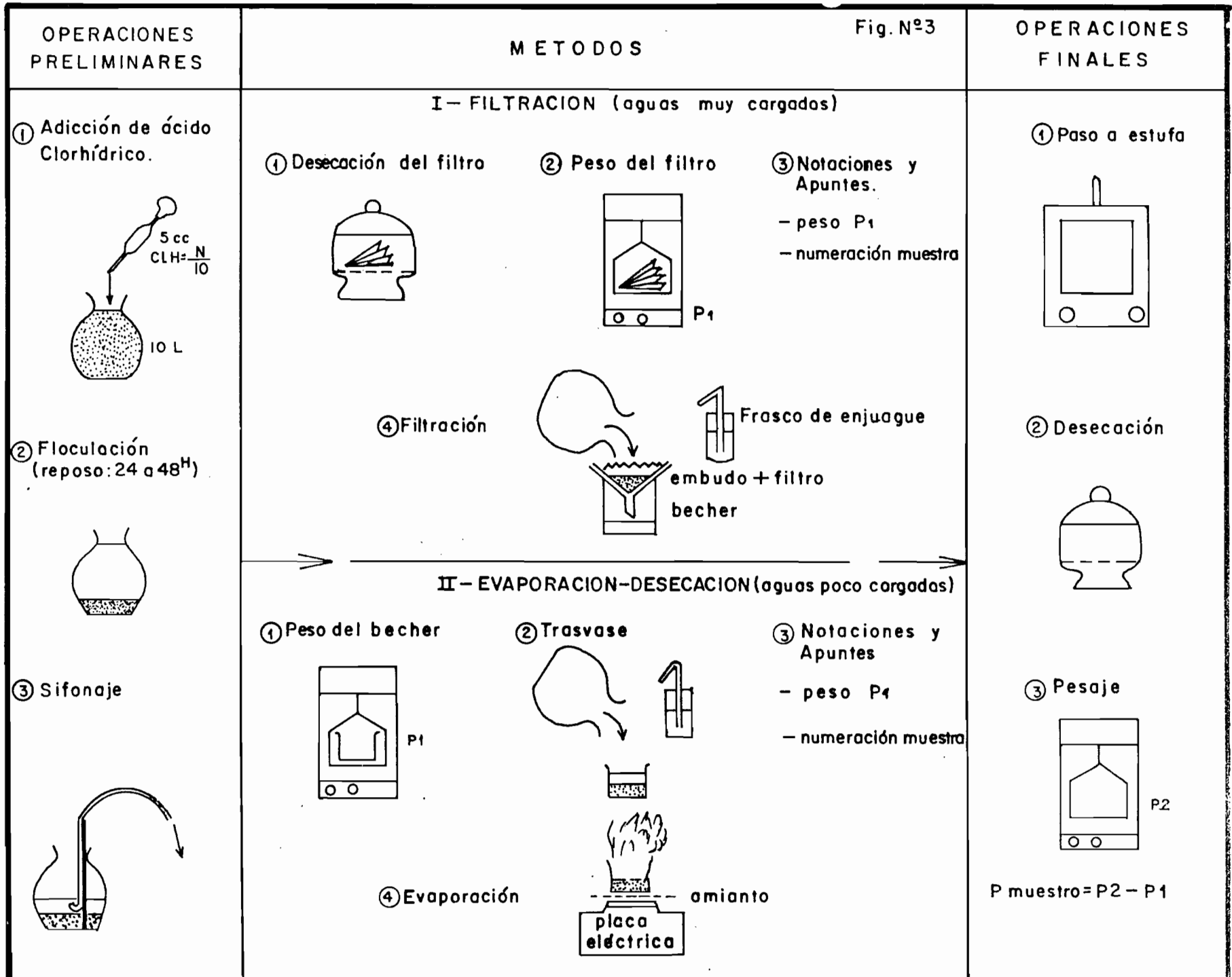


Fig. Nº 2

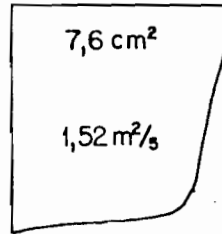




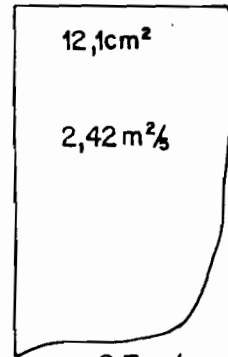
CAUDAL LIQUIDO SIMPLIFICADO

$V_1 (5m) = 0.3 \times 0,257 = 0,077m^2/s$

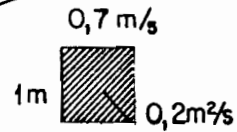
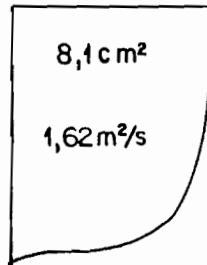
$V_2 (10m)$



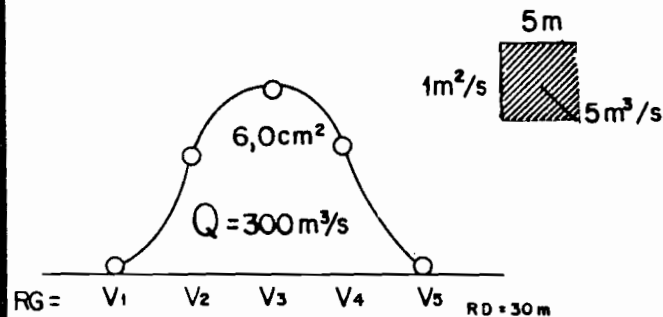
$V_3 (15m)$



$V_4 (20m)$



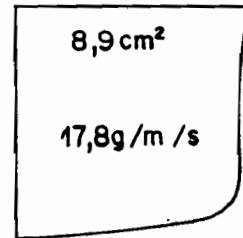
$V_5 (25m) = 0,35 = 0,213 = 0,075 m^2/s$



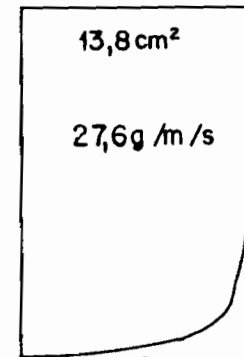
CAUDAL SOLIDO

$V_1 = 0,3 \times 1,313 = 0,394 g/m/s$

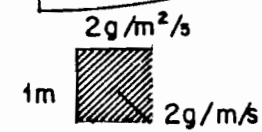
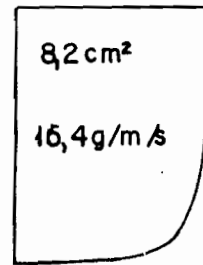
$V_2 (10m)$



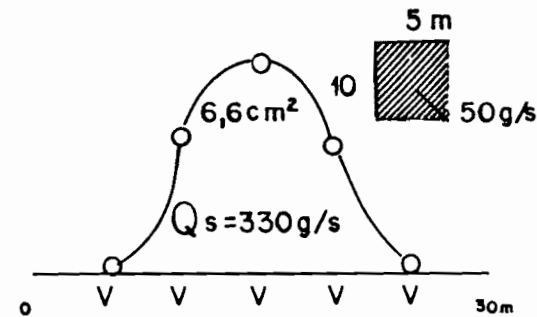
$V_3 (15m)$



$V_4 (20m)$



$V_5 (25m) = 0,35 \times 1,664 = 0,582 g/m/s$



RESULTADOS

Machangara en 2 puentes
11 de Marzo de 1.983
H = 1,60 m.

Q Líquido Simplificado = 30,0 m³/s.

Q de curva de descarga = 32,7 m³/s.

K de corrección = $\frac{32,7}{30,0} = 1,09$

Qs medido = 330 g/s

Qs corregido = 330 x 1,09

360 g/s

Fig. N° 4

CALCULO DEL
CAUDAL SOLIDO