

AFORO QUIMICO PARA CORRIENTES TURBULENTAS

(Método del Bicromato de Sodio)

Ing° Agr° José Elías López G. (+)

- 1 -

METODO QUIMICO

Objetivo

Existen varios métodos o procedimientos para conocer los caudales que conduce una corriente; por vertederos, compuertas, medidores Parshall, molinetes, etc., dependiendo de la cantidad del gasto. Existe un caso especial en donde el uso de los métodos antes citados no es aconsejable, debido a que la operación es difícil y hasta imposible en algunos casos, obteniéndose como consecuencia resultados inciertos. Así sucede con los cauces de fuerte pendiente, en donde las aguas bajan con gran velocidad, provocando arrastre de materiales pesados que a su paso pueden destruir o dañar cualesquier estructura o aparatos utilizados para practicar aforos.

La mayoría de los ríos de la región de los Andes venezolanos son de fuerte pendiente y, por tanto, de régimen turbillona-rio. Para subsanar este inconveniente se ha ideado un método especial, perfeccionado por la Electricité de France, cuyo procedimiento se basa en el uso de ciertas sustancias químicas y por lo que se le ha dado el nombre de "Método Químico para Aforo en Corrientes Turbulentas". Este método se fundamenta en el fenómeno físico de la dilución.

Procedimientos

Consiste en inyectar a una corriente un gasto conocido de una solución salina, de concentración también conocida. Luego se

procede a extraer de esa corriente aguas abajo, muestra de sus aguas para analizarlas en el laboratorio y determinar su contenido en dicha sal. De esta manera quedaría por resolver, mediante la aplicación de la fórmula $Q = q \frac{C}{c}$, el gasto que lleva la corriente, o sea la incógnita del problema.

Limitaciones

En principio se puede utilizar para estos aforos cualquier solución salina, pero se ha seleccionado, por las ventajas que presenta sobre las otras, el bicromato de sodio ($\text{Na}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Se prefiere su uso por ser esta sal de rara presencia en las aguas de los ríos, pero la razón más poderosa es su alta disolubilidad en el agua, lo que permite obtener soluciones fuertemente concentradas. Esto significa que se puede disolver mayor cantidad de sal de bicromato de sodio que de otra sal en una misma cantidad de agua. Este método es específico para corrientes turbulentas o, en su defecto, en donde se pueda provocar dicho fenómeno. El método en sí es bastante exacto y relativamente sencillo.

Se conoce con el nombre de corrientes turbulentas a aquellas en donde los filetes líquidos no circulan paralelamente, sino en forma irregular, o sea, cuando el escurrimiento tiene un número de Reynolds mayor de 3.000.

Una desventaja, quizás la única, que presenta el método químico es su mayor costo por aforo en relación con los otros métodos, pero que se justifica plenamente por cuanto los datos que de él se obtienen son de mayor precisión, lo cual es de suma importancia para cualquier obra de ingeniería.

~~El método de~~ ~~aplicación en~~ ~~aquellas re~~
giones montañosas donde se requieren estudios sobre la poten-
cialidad de una corriente (en especial para obras tales como
presas de almacenamiento) con la idea fundamental de produ-
cir energía eléctrica.

Descripción del Método

Específicamente el método químico tiene aplicación cuando se desea conocer el caudal que transporta una corriente de régimen turbilionario.

El método comprende dos etapas : una que se lleva a cabo en el campo y otra que se realiza en el laboratorio.

- A) En el campo : Para realizar la prueba en el campo es necesario contar con : 1°) un vaso a nivel constante y sus accesorios, 2°) sal de Bicromato de Sodio, 3°) un colorante, la fluoresceína. Estos elementos nos permitirán conocer cualitativamente, mediante la aplicación de una técnica especial, el comportamiento de una corriente.

En efecto, al comienzo de esta primera etapa, lo que podemos apreciar de una corriente cuyas aguas escurren por terrenos de fuerte pendiente (topografía accidentada), es su turbulencia. Esto nos indica que tanto la sección hidráulica como la velocidad del agua, trayectoria de los filetes líquidos, zonas de remanso y presencia de remolinos varían constantemente aún en distancias muy cortas.

Esta circunstancia ha hecho que los otros métodos de aforo resulten impracticables.

Elección del Sitio para la extracción de muestras

Dentro de las condiciones anteriores se debe elegir un sector del río donde el comportamiento de la corriente sea lo más uniforme posible, a fin de poder elegir un tramo en donde ésta avance por una sección transversal definida, libre de obstáculos, que puedan formar remolinos o remansos de magnitud tal que no permitan una mezcla perfecta de la masa líquida.

Prueba con Fluoresceína

A fin de comprobar que en el sitio elegido con anterioridad se produce una perfecta homogeneización de la masa líquida, es necesario constatarlo mediante un colorante con el objeto de poder apreciar en forma objetiva la calidad de dicha mezcla, en cuanto a la difusión de este colorante a todo lo largo de la sección hidráulica de la corriente.

Esta prueba se lleva a cabo con un colorante, específico para estos casos, denominado fluoresceína. Su elección entre otros, se debió a una serie de ventajas que ofrecía, entre ellas primor-dialmente su alta difusibilidad en el agua y su gran poder colorante. De inmediato se procederá a explicar en forma general la mane-ra como se utiliza en el campo.

- 1) La cantidad a usar de fluoresceína, que se obtiene en el comercio en forma de polvo o líquida, dependerá del gasto de -la corriente. Generalmente los ríos que corren por montañas conducen caudales no muy grandes, (más o menos 20 m³/seg.) lo cual permite utilizar sólo de 250 a 350 gr. del citado -colorante; en todo caso, la práctica formará criterio al aforador en cuanto a la cantidad más conveniente a usar.
- 2) Una vez pesada la fluoresceína, deberá ser colocada en un -recipiente liviano y manuable de forma tal que tanto la operación de dilución (utilizando entre 4 y 5 litros de agua -de la misma corriente) como su inyección al río se hagan lo más expedito posible.
- 3) Preparada y lanzada la fluoresceína, se procederá a anotar en la libreta de campo la hora en que haya hecho contacto -

con la corriente.

A medida que la fluoresceína avanza mezclándose en la corriente, uno de los integrantes del equipo que realiza el aforo, caminará aguas abajo observando el proceso de difusión en la masa líquida.

Se estima que a una distancia comprendida entre los 100 y 250 m. del sitio donde fue lanzado el colorante, éste habrá teñido uniformemente y a todo su ancho, las aguas de la corriente.

Este fenómeno debe ser controlado y constatado por el aforador, ya que de él dependerá fundamentalmente el éxito o fracaso del aforo. Se deberá avanzar unos 20 o 30 m. aguas abajo del sitio donde se produjo la mezcla uniforme del colorante a fin de obtener un mayor margen de seguridad.

Anótese en la libreta de campo la hora en que se produjo este fenómeno.

De esta manera se habrá determinado el sitio donde deberán ser recolectadas las muestras de agua para luego ser analizadas en el laboratorio, concluyendo así la prueba con la Fluoresceína, que no ha tenido otro fin que el de indicar el comportamiento de la corriente. Este ensayo es fundamental por cuanto la sal utilizada (bicromato de sodio) es de coloración muy débil, que en grandes masas de agua, como la de las corrientes que transportan los ríos de montañas, se vuelve completamente incolora, siendo imposible notar su presencia.

Utilización de la Sal de Bicromato.

Esta segunda parte se refiere a la utilización de la sal de bicromato.

Las razones fundamentales por las cuales fue escogida dicha sal se explicaron en el capítulo anterior.

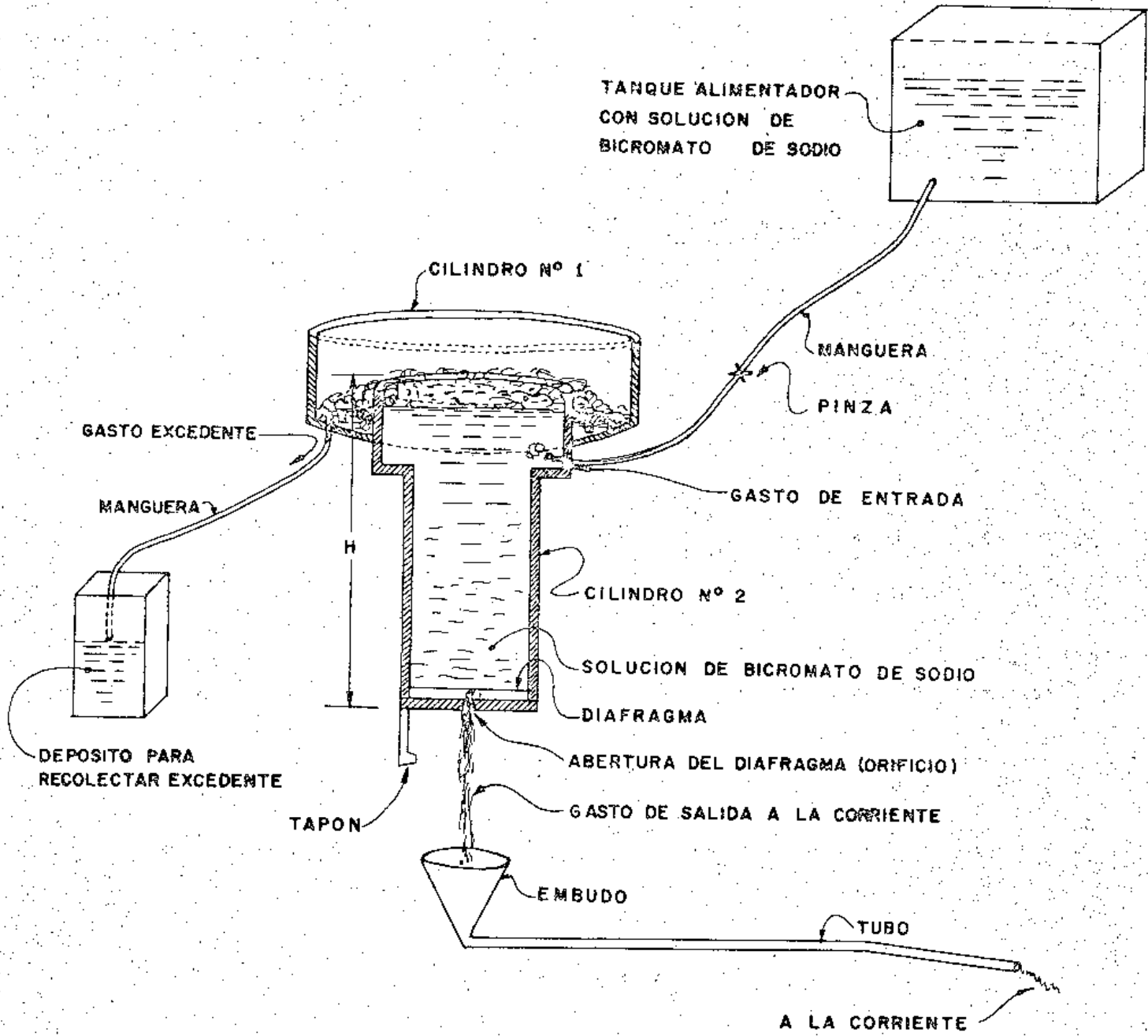
El material necesario para llevar a cabo la inyección de bicromato de sodio en la corriente, está en parte integrado por un vaso a nivel constante (ver diagrama) que descansa en un trípode y su aplicación se basa en el principio del vaso de Mariotte, cuyo objeto es el de obtener una carga hidráulica fija y, en consecuencia, un gasto de salida constante.

El vaso en sí lo forman dos cilindros : (cilindro N° 1 y N° 2 en el diagrama). En el primer cilindro se recolecta el excedente de bicromato cuando no se encuentra regulada la carga H, es decir, cuando es mayor el gasto de entrada que viene del tanque alimentador que el gasto de salida por inyectar a la corriente.

Se debe tener cuidado de que la sal de bicromato, una vez que se esté inyectando a la corriente, no derrame sobre el cilindro N° 1 ni tampoco que disminuya el valor de la carga H, ya que en uno u otro caso hará aumentar o disminuir el valor del gasto que se esté inyectando.

El valor del gasto a inyectar de bicromato de sodio a la corriente, cuyo cálculo depende de varios factores, se logra mediante el uso de diafragmas con orificios diferentes; igualmente el volumen total a inyectar de dicha sal y el tiempo de inyección.

Además es necesario contar con 2 cronómetros, 1 pesa con capacidad para 10 Kg., 2 machetes, 2 tobos, 4 frascos para la recolección de la solución Madre, unos 20 frascos para la recolección de muestras de las aguas del río con su respectivo estuche para el transporte, 1 nivel de carpintero y 2 pares de botas de caucho largas que cubran la pierna.



VASO A NIVEL CONSTANTE
DIAGRAMA

Todo el material de campo debe ser lo más liviano posible, de tal forma que facilite su transporte por regiones accidentadas.

Una vez retiradas las muestras de agua con bicromato de sodio, se procederá a su traslado al laboratorio.

B) En el laboratorio : En el laboratorio se determina la concentración de bicromato de sodio en las muestras que se extrajeron de la corriente por aforar, para posteriormente y mediante un sencillo cálculo determinar el gasto de ella.

El equipo y reactivos necesarios para realizar esta prueba en el laboratorio son :

Equipo básico :

Probetas

Balón aforado o matraz

Cubetas

Pipetas

Reloj para control de intervalos de tiempo

Agitadores de cristal

Calentador

Frasco lavador

Colorímetro

El número de cada uno de ellos dependerá de la magnitud del trabajo a realizar en el laboratorio. En la lista anterior no se incluyó aquellos materiales tales como toallas, batas de laboratoristas, escritorio, etc., por ser indispensables en todo laboratorio.

Reactivos :

Alcohol etílico de 95° - absoluto - (C_2H_5OH)

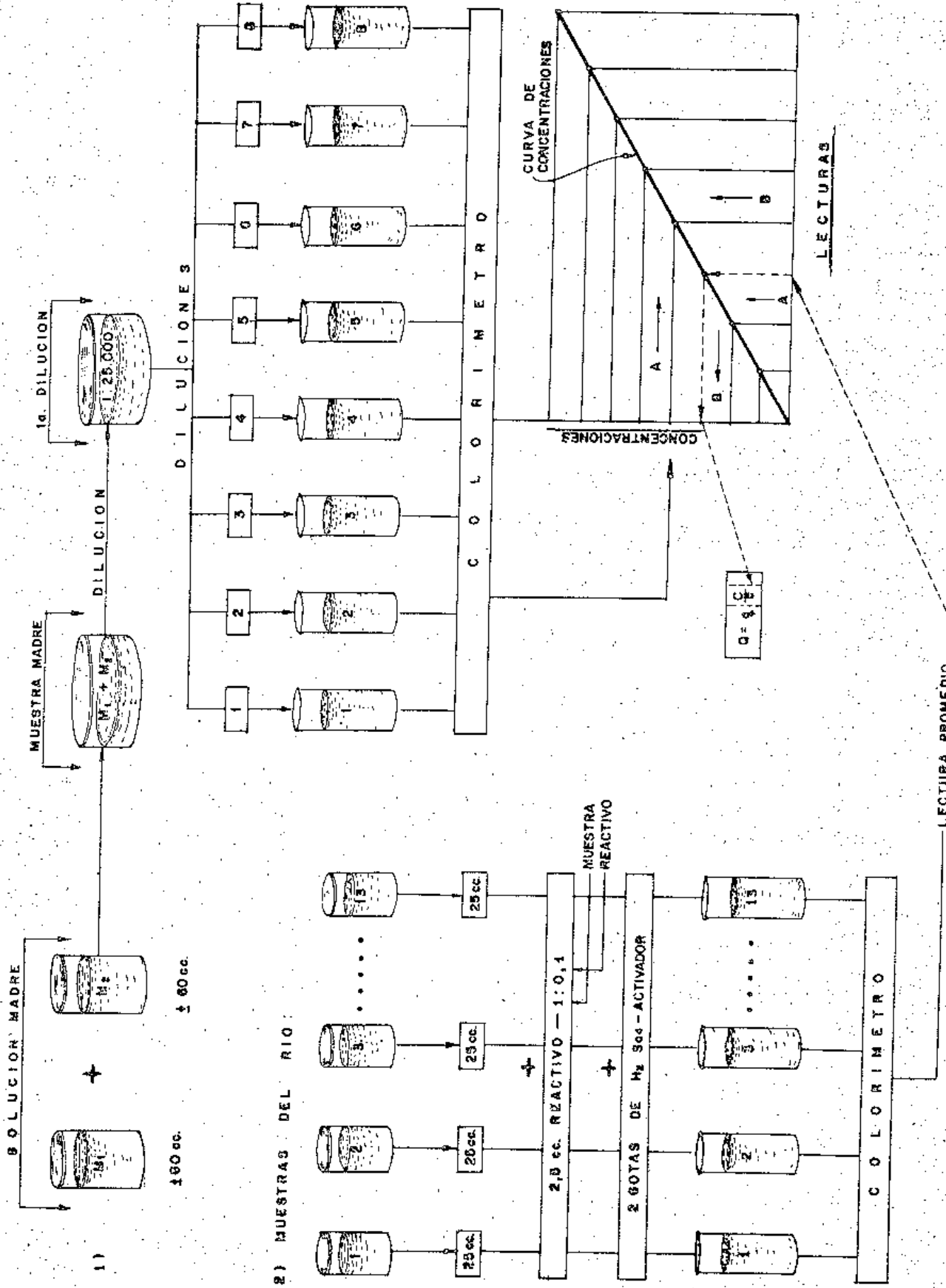
Anhidro de ácido ftálico ($C_8H_4O_3$)

Difenil-carbacida ($C_6H_5NH-CO-NH-C_6H_5$)

Acido Sulfúrico (H_2SO_4)

Los pasos a seguir en el laboratorio, para su mejor interpretación, se hará con ayuda del diagrama de operación en el laboratorio.

- A) 1-. Las dos porciones de solución Madre que se retiraran durante la inyección del bicromato de sodio en la corriente se vacían en un plato de Petri y se agitan a fin de tener una buena mezcla.
- 2-. De este volumen resultante se toma una porción - que se utilizará para hacer la primera dilución, su concentración dependerá de varios factores como se verá posteriormente.
- 3-. Obtenida esta primera dilución se preparará a partir de ella, 8 nuevas diluciones de diferentes - concentraciones.
- 4-. Luego se trasiega parte de estos volúmenes a tubos de ensayo, previamente enumerados, a fin de no confundirlos durante la prueba.
- 5-. Listos los tubos de ensayo, de diferentes concentraciones de bicromato de sodio, se pasarán al aparato denominado "Colorímetro".



JEL6/500

DIAGRAMA DE OPERACION EN EL LABORATORIO

6-. Se introducen estos tubos en dicho aparato y se anotará las lecturas obtenidas en él.

7-. Ploteando estos dos valores (valor de la concentración y su lectura correspondiente) en un sistema de ejes Cartesianos obtendremos una curva que se denominará "Curva de Concentraciones".

B) 1-. De cada una de las trece muestras retiradas de la corriente conteniendo bicromato de sodio se toma un volumen de 25 cc. y se trasiegan a una cápsula de Pietri .

2-. Luego se le agregan a cada una de ellas 2,5 cc. de ~~reactivo~~. La proporción en volumen entre -- muestra y reactivo es de 1:0,1.

3-. A cada uno de esos volúmenes se le agregarán 2 gotas de ~~ácido sulfúrico~~ con el fin de activar la reacción.

4-. Se toman porciones de estos volúmenes y se trasiegan a los tubos de ensayo, que posteriormente serán llevados al colorímetro.

5-. En el colorímetro se obtendrán las lecturas correspondientes a sus concentraciones. Se toma -- el valor medio de estas lecturas y con éste se entrará a la gráfica "Curva de Concentraciones", se hace coincidir con la curva y luego se traza una horizontal hasta el eje de las ordenadas, --

donde obtendremos el valor de concentración correspondiente a esa lectura promedio.

6-. Este valor de concentración será el que se utilizará para el cálculo del gasto que conduce la corriente. -

En la fórmula $Q = q \frac{C}{c}$ que es la utilizada para el cálculo del gasto, la expresión $\frac{C}{c}$ (relación de concentraciones) cobra valor cuando la sustituimos por el denominador del quebrado que representa la concentración de bicromato de sodio que transporta la corriente.

DESARROLLO DEL METODO

1. Fórmula General
2. Fórmula para obtener el peso del bicromato de sodio
3. Cálculo del volumen (V) de la solución de bicromato de sodio
 - 3.1 Ensayo con la fluoresceína
 - 3.2 Toma de muestras
4. Interpretación y construcción de la gráfica "Intervalo para la toma de muestras"
5. Calibración de los diafragmas en el vaso a nivel constante
6. Cálculo del peso del bicromato de sodio
7. Toma de la solución Madre
8. Preparación del reactivo
9. Preparación de las muestras para el análisis
10. Concentración que debe tener la primera dilución de la solución Madre a analizar
11. Tabla de concentraciones
12. Procedimientos para calcular el gasto de la corriente
 - 12.1 Curva de concentraciones :
 - a) Dilución de la solución Madre
 - b) Análisis de las muestras del río
 - c) Cálculo del gasto de la corriente
 - 12.2 Interpolación :
 - a) Procedimiento
 - b) Cálculo del gasto de la corriente

1) FORMULA GENERAL

Cuando se utiliza el método Químico para el aforo de una corriente, la fórmula que se aplica es la siguiente :

$$Q = q \frac{C}{c} \quad (1)$$

en donde :

- Q : gasto de la corriente que se desea aforar
- q : gasto de salida en el vaso a nivel constante, que es función del diámetro del orificio del diafragma
- C : concentración del bicromato de sodio en "q"
- c : concentración del bicromato de sodio en "Q"

2) FORMULA PARA OBTENER EL PESO DEL BICROMATO DE SODIO

$$p = Q_e \quad n \quad \frac{V}{q} \quad (2)$$

en donde :

- p : peso del bicromato de sodio en gr.
- Q_e : gasto estimado de la corriente en l/seg.
- n : concentración del bicromato de sodio en gr/l.
- V : volumen de la solución de bicromato de sodio que se va a aplicar a la corriente por aforar en litros.
- q : gasto de salida en el vaso a nivel constante en l/seg.

$$\frac{V}{q} = t_v = \text{tiempo de vaciado de V. en seg.}$$

- n = concentración de bicromato de sodio que se desea obtener en las muestras, debiendo estar comprendida entre 0,1 - 0,5 mg/l., o sea, de 0,0001 gr/l. a 0,0005 gr/l. y como promedio 0,0003 gr/l.

3) CALCULO DEL VOLUMEN (V) DE LA SOLUCION DE BICROMATO DE SODIO

3.1 Ensayo con la fluoresceína (colorante)

Para conocer el volumen de la solución de bicromato de sodio a usar, es necesario efectuar de antemano el ensayo con la fluoresceína - resorcinolftaleína o - dihidroxifluorano ($C_{20}H_{12}O_5 \cdot H_{20}$); este producto se expende en el comercio con el nombre de Fluoresceína - de Sodio o Sódica. Para el efecto se procede de la siguiente manera :

- 1° echar de una vez la fluoresceína en el sitio elegido para la inyección (inyección instantánea). La cantidad de fluoresceína está en función del gasto del río, pendiente del lecho, sección, etc. En ríos con fuerte pendiente se diluye aproximadamente entre 100 y 200 gr. de fluoresceína en cuatro (4) o cinco (5) litros de agua;
- 2° en ese mismo instante poner en marcha el cronómetro; (H_1)
- 3° seguir por la orilla del río la coloración de la fluoresceína, para observar su grado de difusión en la corriente;
- 4° localizar un lugar del río en donde a todo su ancho sus aguas estén uniformemente coloreadas. A partir de allí avanzar aguas abajo de 20 a 30 metros, este nuevo sitio será donde se extraerán las muestras. Anotar el tiempo (t_1) que requirió

la fluoresceína, desde su inyección para llegar al sitio antes especificado; (H₂)

5° anotar el tiempo (t₂) transcurrido para que desaparezca en ese mismo lugar la coloración de fluoresceína a partir de t₁. (H₃)

3.2 Tiempo necesario para extraer las muestras :

Obtenido el valor de los tiempos t₁ y t₂ del ensayo con la fluoresceína, se procede a estimar el tiempo necesario para hacer el muestreo. Es suficiente 1 minuto de intervalo para la toma de cada muestra. Así, para tomar 13 muestras se necesitarán aproximadamente 15 minutos. A este tiempo lo denominaremos t₃. (H₄)

3.3 Cálculo del Volumen de Solución de Bicromato de Sodio:

A la suma de los tiempos t₁, t₂ y t₃ la designaremos t. Transformados estos tiempos en segundos y multiplicado por el valor del gasto (l/seg.) de salida en el vaso a nivel constante, se obtendrá el valor del volumen necesario de solución bicromato de sodio en litros, mediante la aplicación de la fórmula :

$$V = q \cdot t \quad (3)$$

en donde :

V : volumen de bicromato de sodio en litros

q : gasto de salida en el vaso a nivel constante en l/seg.

t : valor de t₁ + t₂ + t₃ en seg.

4) INTERPRETACION Y CONSTRUCCION DE LA GRAFICA "INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRAS".

Esta gráfica tiene como objetivo principal indicar el lapso o período en que las muestras deben ser extraídas de la corriente.

Para su construcción se anotará en el eje de las abscisas la hora en que se inicia y finaliza cada uno de los pasos que componen o integran la primera fase del aforo correspondiente al trabajo de campo, así :

H_1 , indica la hora en que se inicia la inyección del bicromato de sodio en la corriente, por ejemplo a las 10:00 a.m.;

H_2 , la hora en que la sal de bicromato de sodio se mezcla uniformemente en la corriente, en un determinado sitio, pero con una concentración mínima (10:05 a.m.).

A partir de esta hora, la concentración de bicromato de sodio va en aumento progresivo a medida que el tiempo transcurre, hasta llegar a un valor máximo. Este valor se mantiene por un tiempo muy corto, luego decrece hasta llegar nuevamente a un valor mínimo de concentración de sal en la corriente. Se toma la hora en que sucede este fenómeno y se designa H_3 (10:15 am.m.).

Para la recolección de las muestras se necesita de un tiempo prudencial cuya cuantía se estima de acuerdo al número de muestras que se van a tomar. Este número de veces dependerá fundamentalmente de la exactitud que se quiera tener en el aforo, ya que de ellas se obtendrá una muestra promedio (promedio aritmético) que será la representativa de la

concentración de sal de bicromato de sodio que transporta la corriente en toda la sección transversal del sitio elegido para la toma de las muestras; y en segundo término, dependerá - también del tiempo que se desee que dure la prueba.

Tomemos para esta ilustración 10 muestras, con un intervalo de 1 minuto para la toma de cada una de ellas. Esto requiere aproximadamente 12 minutos. Al final de este tiempo serán las 10:27 a.m. y la denominaremos H_4 .

Los tiempos que corresponden a estas pruebas parciales se designarán como a continuación se expresa :

$$t_1 = H_2 - H_1 = 5'$$

$$t_2 = H_3 - H_2 = 10'$$

$$t_3 = H_4 - H_3 = 12'$$

La suma de estos valores lo llamaremos "T" (t) y su valor será de :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 27'$$

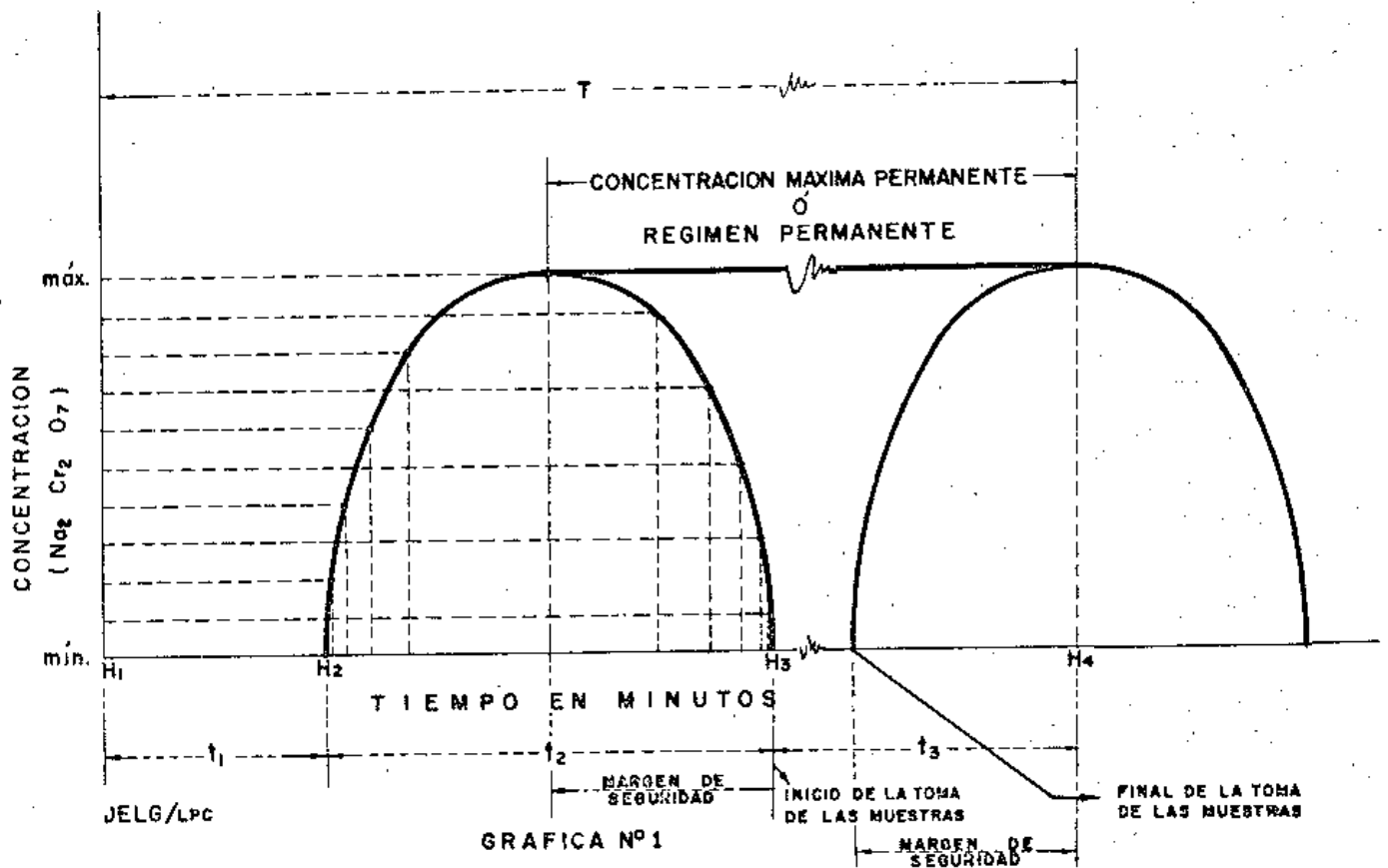
que es el tiempo que debe durar la inyección de bicromato de sodio.

Como hemos visto, la concentración máxima de sal en la corriente, que es precisamente la que nos interesa conocer, se mantiene durante un intervalo de tiempo muy corto que hace imposible obtener el número de muestras que se requieren para - el análisis en el laboratorio (segunda etapa de la operación de aforo). Este inconveniente se subsana aumentando el tiempo de inyección de bicromato de sodio en la corriente. De esta manera estamos manteniendo el "pico" de la concentración (los

valores de las concentraciones se anotarán en el eje de las ordenadas) por un tiempo mayor. Esto nos indica que durante un tiempo la corriente transporta una concentración de bicromato de sodio prácticamente constante; este período se denomina "Régimen permanente o concentración máxima permanente". Pasada la hora H_4 comienza a decrecer el valor de la concentración, hasta hacerse nula.

Según lo que hemos analizado, el inicio y el final de la toma de las muestras se debe hacer teóricamente en el período comprendido desde la mitad del valor de t_2 más el valor de t_3 , es decir, inmediatamente después del tiempo que corresponde al comienzo del período de "concentración máxima permanente" y poco antes de finalizar éste. En la práctica se aconseja, para mayor seguridad, retirar las muestras a partir de H_3 ($t_1 + t_2$) (ver gráfica N° 1).

INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRAS (TIEMPO/CONCENTRACION)



5. CALIBRACION DEL DIAFRAGMA EN EL VASO A NIVEL CONSTANTE

Por medio de este procedimiento y según el diafragma que se utilice, conocemos el valor del gasto "q" de salida en el vaso de nivel constante.

Se procede de la siguiente manera: (suponemos que 1 litro de agua pesa 1.000 gr.):

- 1) se pesa el recipiente donde se va a hacer la prueba;
- 2) mantenido el nivel constante del agua en el vaso, se procede a vaciar en un recipiente un volumen "x" durante un tiempo "t";
- 3) se pesa de nuevo el recipiente más el agua vaciada durante el tiempo "t";
- 4) se obtiene, por diferencia, el peso del agua vertida en el recipiente; y
- 5) el gasto se calcula dividiendo el peso del agua (convirtiendo los gr. en cc) por el tiempo "t" que duró el vaciado, o sea :

$$q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Se repetirá esta prueba hasta obtener un valor constante en el gasto. Mientras mayor sea el tiempo de vaciado, mayor será la exactitud de la calibración.

Ejemplo :

Tiempo de vaciado (t)	61	seg.
Peso del recipiente más el agua	8.467	gr.
Peso del recipiente	1.150	gr.
Peso del agua (volumen)	7.317	gr.(cc)

Aplicando la fórmula (4) resulta :

$$\text{Gasto} = \frac{7.317 \text{ cc.}}{61 \text{ seg.}} = 119,95 \text{ cc/seg.} = 0,120 \text{ l/seg.}$$

6. CALCULO DEL PESO DEL BICROMATO DE SODIO

Por medio de los cálculos anteriores, hemos averiguado los valores que nos darán a conocer el peso del bicromato de sodio a usar en el aforo.

a) según la fórmula (2) es necesario hacer una estimación del gasto que lleva la corriente en el momento en que se practique el aforo. Para el efecto asumamos un gasto de 15 m³/seg. (15.000 l/seg.).

b) debemos conocer también el volumen de bicromato de sodio que se inyectará a la corriente.

Conocido el tiempo que dura la inyección y el gasto de salida en el vaso a nivel constante, podemos calcular el volumen del bicromato de sodio requerido mediante la fórmula :

$$V = q \times t \quad (5)$$

en donde :

q : gasto de salida en el vaso a nivel constante

t : tiempo de inyección del bicromato de sodio

$$q = 0,120 \text{ l/seg.}$$

$$t = 1.620 \text{ seg. (27 min.)}$$

sustituyendo estos valores en la fórmula anterior :

$$V = 0,120 \text{ l/seg.} \times 1.620 \text{ seg.} = 194,4 \text{ l.}$$

Como :

$$Q_e = 15 \text{ m}^3/\text{seg.} = 15.000 \text{ l}/\text{seg.}$$

$$n = 0,0003 \text{ gr}/\text{l.}$$

$$V = 194,4 \text{ l.}$$

$$q = 0,120 \text{ l}/\text{seg.}$$

al sustituir estos valores en la fórmula (2) resulta :

$$p = 15.000 \text{ l}/\text{seg.} \times 0,0003 \text{ gr}/\text{l.} \times \frac{194,4 \text{ l.}}{0,120 \text{ l}/\text{seg.}}$$

$$p = 7.290 \text{ gr.}$$

quiere decir, entonces, que tenemos que diluir 7,29 Kg. de bi
cromato de sodio en 194,4 litros de agua.

7. TOMA DE LA SOLUCION MADRE

Se denomina solución Madre a la muestra que se obtiene -
del vaso a nivel constante, durante el tiempo que se realiza -
la inyección :

- 1) se toma una primera muestra de aproximadamente 60 cc. a -
los 2 minutos de comenzada la inyección; y
- 2) se toma una segunda muestra de igual volumen que la ante -
rios faltando entre 5 y 7 minutos para finalizar la in -
yección.

Se mezclan ambas muestras y se toma aproximadamente 90 -
cc. de ella. Esta cantidad será suficiente para obtener las di
ferentes concentraciones necesarias para la "CURVA DE CONCEN -
TRACIONES". Cuando el agua del río esté clara, las diluciones
de la solución Madre se pueden hacer con agua del laboratorio
(agua del tubo, no es necesario usar agua destilada); en cam -
bio cuando el agua esté turbia se tomará un poco de ésta, se de
jará reposar y luego se usará en las diluciones.

Para construir la gráfica "CURVAS DE CONCENTRACIONES" se coloca en el eje de las ordenadas el valor de la concentración que corresponda a cada dilución; y en el eje de las abscisas - las lecturas obtenidas para cada una de esas concentraciones, llevando estos valores a un sistema de coordenadas se obtendrá la curva citada.

Antes de efectuar las lecturas en el colorímetro, se debe ajustar el aparato con agua destilada a la lectura 100; y con el botón ajustador llevar la aguja al centro del "dial". El botón no se debe tocar más. Finalizadas las lecturas se vuelve a colocar el tubo con agua destilada en el aparato y la lectura debe de ser de 100, es decir, igual que la anterior. De no ser así, se tendrá que repetir el ensayo, pues es posible que el aparato, debido a una alza o baja en la corriente, indique valores erróneos en las lecturas.

8. PREPARACION DEL REACTIVO

100 cc. de alcohol etílico de 95° (absoluto) C_2H_5OH

4 gr. de anhídrido de ácido ftálico - $C_8H_4O_3$ - (P.M.148,12)

0,25 gr. de difenil carbocida $C_6H_5NH - Co - NH - NH - C_6H_5$

Una vez mezclados, se calienta en baño de María a 50° C. debiéndose mantener en continua agitación.

Este reactivo no debe usarse después de tener 3 días de preparado, aunque se puede activar agregando 2 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a cada muestra.

9. PREPARACION DE LA MUESTRA PARA EL ANALISIS

Se extraen 20 cc. de cada muestra del río y se colocan

en sus respectivos envases. A cada una de estas muestras se le agregan 2 cc. del reactivo (la relación muestra: reactivo es de 1:0,1 respectivamente) y dos (2) gotas de ácido sulfúrico para activar la reacción y se deja reposar como mínimo 5 minutos. Luego se pasan al colorímetro.

Como se explicó antes, se debe efectuar una lectura al comienzo y al final del análisis con agua destilada, debiendo ser ambas lecturas iguales, con el fin de chequear el aparato. Antes de ser agregado el reactivo y el ácido sulfúrico a las muestras tomadas en el río, deben haberse efectuado con anterioridad las lecturas correspondientes a las diferentes diluciones (concentraciones) estimadas para la solución Madre en el colorímetro.

10. CONCENTRACION QUE DEBE TENER LA PRIMERA DILUCION DE LA SOLUCION MADRE A ANALIZAR

Se procede de la siguiente manera :

Divídase el caudal que se obtuvo mediante la relación escala-gasto a partir de la lectura de mira o el que se estimó en el momento del aforo, entre el gasto de inyección "q". La unidad sobre el valor de este cociente será la concentración que deberá tener la primera dilución. Ejemplo :

$$\text{Gasto estimado } Q_0 = 15.000 \text{ l/seg.}$$

$$\text{Gasto de inyección } q = 0,120 \text{ l/seg.}$$

$$\frac{Q}{q} = \frac{15.000 \text{ l/seg.}}{0,120 \text{ l/seg.}} = 125.000$$

Luego la primera concentración deberá ser de $\frac{1}{125.000}$

11. TABLA DE CONCENTRACIONES

Se debe interpretar la tabla de la manera siguiente :

Se desea obtener una concentración de : $\frac{1}{125.000}$

(siga los pasos que a continuación se citan y compárelos con el mismo valor de concentración que aparece en la tabla).

Para el efecto se toma de la solución Madre 1 cc. y se completa con agua hasta 25.000 cc. Se agita bien, luego se toma de esta primera dilución 25 cc. y se lleva hasta completar con agua un volumen de 125 cc. Esta segunda dilución tendrá una concentración de : $1/125.000$.

Cuando la "concentración deseada" es igual o menor de $1/60.000$, se procederá con la "primera dilución", como si correspondiese a una "concentración deseada". A partir de ésta se obtendrá la "segunda dilución", tal como se indica en la tabla, la cual tendrá el valor de la "concentración deseada".

Ejemplo :

Analicemos el caso anterior, en que se desea obtener una "concentración" de $1/125.000$.

Según lo que hemos visto es necesario para la "primera dilución" tomar 1 cc. de la solución Madre y completar con a agua un volumen igual a 25.000 cc. (25 l.). En el laboratorio esta operación necesitaría demasiado tiempo para lograr una concentración uniforme; además, como podemos apreciar, el re cipiente a usar (MATRAZ) sería de un tamaño inusitado. (Para obtener concentraciones de $1/100.000$ se necesitaría de un re cipiente con capacidad para 100 l.).

TABLA DE CONCENTRACIONES

Concentración deseada	Primera dilución	Segunda dilución	Concentración deseada	Primera dilución	Segunda dilución
$\frac{1}{1.000}$	=	$\frac{1}{1.000}$	$\frac{1}{90.000}$	=	$\frac{1}{30.000} \times \frac{50}{150}$
$\frac{1}{1.500}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{20}{150}$	$\frac{1}{100.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{2}{1.000}$
$\frac{1}{2.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{10}{100}$	$\frac{1}{105.000}$	=	$\frac{1}{1.000} \times \frac{1}{105}$
$\frac{1}{3.000}$	=	$\frac{5}{500} \times \frac{5}{150}$	$\frac{1}{125.000}$	=	$\frac{1}{25.000} \times \frac{25}{125}$
$\frac{1}{4.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{10}{200}$	$\frac{1}{150.000}$	=	$\frac{1}{100.000} \times \frac{100}{150}$
$\frac{1}{5.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{10}{250}$	$\frac{1}{200.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{1}{1.000}$
$\frac{1}{8.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{5}{200}$	$\frac{1}{250.000}$	=	$\frac{1}{25.000} \times \frac{10}{100}$
$\frac{1}{10.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{10}{500}$	$\frac{1}{300.000}$	=	$\frac{1}{100.000} \times \frac{50}{150}$
$\frac{1}{15.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{2}{150}$	$\frac{1}{360.000}$	=	$\frac{1}{60.000} \times \frac{25}{150}$
$\frac{1}{20.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{10}{1.000}$	$\frac{1}{400.000}$	=	$\frac{1}{100.000} \times \frac{25}{100}$
$\frac{1}{25.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{2}{250}$	$\frac{1}{500.000}$	=	$\frac{1}{100.000} \times \frac{20}{100}$
$\frac{1}{30.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{1}{150}$	$\frac{1}{600.000}$	=	$\frac{1}{20.000} \times \frac{5}{150}$
$\frac{1}{40.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{5}{1.000}$	$\frac{1}{750.000}$	=	$\frac{1}{25.000} \times \frac{5}{150}$
$\frac{1}{50.000}$	=	$\frac{5}{1.000} \times \frac{2}{500}$	$\frac{1}{800.000}$	=	$\frac{1}{20.000} \times \frac{25}{1.000}$
$\frac{1}{60.000}$	=	$\frac{1}{20.000} \times \frac{50}{150}$	$\frac{1}{900.000}$	=	$\frac{1}{30.000} \times \frac{5}{150}$
$\frac{1}{75.000}$	=	$\frac{1}{25.000} \times \frac{50}{150}$	$\frac{1}{1.000.000}$	=	$\frac{1}{100.000} \times \frac{10}{100}$
$\frac{1}{80.000}$	=	$\frac{1}{20.000} \times \frac{25}{100}$			

Este inconveniente se subsana tomando el valor de la "primera dilución" como un valor de "concentración deseada". En nuestro caso, la "primera dilución" corresponde a $1/25.000$, tomando a éste y comparándolo con el de una "concentración deseada" de igual valor, vemos que se necesitaría para la "primera dilución" 5 cc. de solución Madre para completar con agua un volumen de 1.000 cc.; luego, de esta "primera dilución" se tomará 2 cc. y se completará hasta obtener un volumen de 250 cc. De esta manera hemos logrado una concentración de $1/25.000$ (podemos observar que el volumen necesario para estas diluciones ha sido de 1.000 cc. como máximo). El segundo paso consistirá en tomar 25 cc. de esta dilución y completar con agua un volumen igual a 125 cc.; esta "segunda dilución" tendrá una concentración de $1/125.000$, que es la concentración problema.

12. PROCEDIMIENTOS PARA CALCULAR EL GASTO DE LA CORRIENTE

12.1 Curva de Concentraciones

Se puede calcular el gasto de la corriente utilizando para el efecto la gráfica "CURVA DE CONCENTRACIONES". Esta curva debe determinarse por lo menos con 6-8 puntos correspondientes a cada concentración-lectura de las diluciones de la solución Madre. Esta curva es específica para cada aforo, salvo que la cantidad de bicromato de sodio (peso "p") y el gasto "q" utilizado para varios aforos sea la misma, es decir, constante.

Construida así la gráfica, se procederá a hacer las lecturas correspondientes a las muestras del río (13 son

suficientes). Se toma el promedio aritmético de esas lecturas y con este valor se entra a la citada gráfica. Se busca la concentración a que corresponda dicha lectura y ése será el valor que utilizaremos en la fórmula para el cálculo del gasto.

a) Dilución de la solución Madre

Efectuadas las diluciones de la solución Madre en sus diferentes concentraciones, se ha obtenido en el colorímetro, para cada una de ellas, las siguientes lecturas :

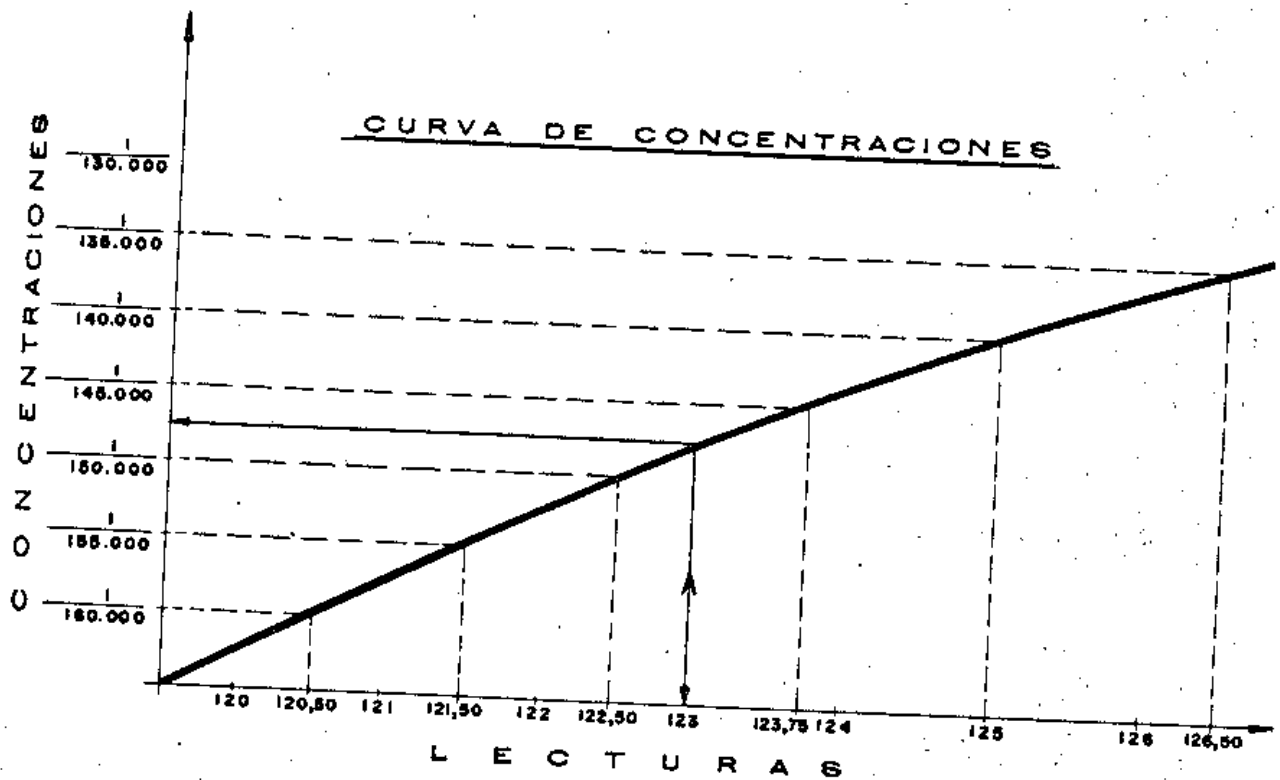
<u>Concentración</u>	<u>Lectura</u>
$\frac{1}{160.000}$	120,50
$\frac{1}{155.000}$	121,50
$\frac{1}{150.000}$	122,50
$\frac{1}{145.000}$	123,75
$\frac{1}{140.000}$	125,00
$\frac{1}{135.000}$	126,50

Con estos valores se construye la gráfica "CURVA - DE CONCENTRACION".

b) Análisis de las muestras del río

Analizadas las muestras que se extrajeron de la corriente, la lectura promedio (promedio aritmético de trece muestras) resultó ser igual a 123,00.

Para este valor t_2 de 123,00 leído en el eje - de las ^{abscisas} ordenadas, corresponde en el eje de las ^{ordenadas} abscisas a un valor de concentración de $\frac{1}{147.000}$ (véase la gráfica N° 2).



GRAFICA N° 2

c) Cálculo del gasto de la corriente

Fórmula general :

$$Q = q \frac{C}{c}; \quad (3)$$

en donde :

Q : gasto de la corriente

q : gasto en el vaso a nivel constante

C : concentración de la solución del bicromato de sodio que se inyecta a la corriente

c : concentración de la solución de bicromato de sodio, una vez mezclado en la corriente

C/c: relación de concentraciones

Para aplicar la fórmula 3, tomemos el valor del denominador en la expresión de la concentración obtenida. En este caso la concentración es de 1/147.500; el valor a tomar será de 147.500.

El valor de "q" resultó ser de 120 cc/seg. (diafragma N° 4) o sea de 0,120 l/seg.

Sustituyendo valores, tenemos :

$$q = 0,120 \text{ l/seg.}$$

$$C/c = 147.500$$

$$Q = 0,120 \text{ l/seg.} \times 147.500 = 17.700 \text{ l/seg.}$$

Luego el gasto de la corriente es de :

$$Q = 17,7 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Interpolación

Otra manera de calcular el gasto es por interpolación de los valores conocidos, tanto de las lecturas co

mo de las concentraciones de las disoluciones de la solución Madre. Se procede de la manera siguiente :

Obtenida la lectura promedio (promedio aritmético) de las muestras del río, se compara con las lecturas obtenidas en las diferentes concentraciones de las diluciones de la solución Madre.

En caso de que la lectura promedio de la muestra del río sea igual a una de las lecturas de las diluciones de la solución madre, el valor de la concentración se obtendrá directamente. En caso contrario, se tomará el valor de las lecturas correspondientes a las concentraciones más próximas (superior e inferior) a la lectura promedio de la muestra del río. El valor de la incógnita, que será el valor de la concentración correspondiente a la lectura promedio de la muestra del río, se obtendrá interpolando los valores antes citados.

Por ejemplo :

La lectura promedio de 13 muestras resultó ser de 124,00.

Se desconoce su concentración.

Las lecturas correspondientes a las diluciones de la solución Madre para concentraciones de $1/80.000$ y $1/60.000$ son respectivamente de 119,00 y 127,00. Quiere decir, entonces, que el valor de la concentración que corresponde a la lectura de la muestra del río, estará comprendido entre estos dos valores.

De esta manera podemos conocer lo siguiente :

a) Diferencia de concentración :

$$1/80.000 - 1/60.000 = 1/20.000$$

b) Diferencia de lecturas :

$$1/60.000 = 127,00$$

$$1/80.000 = \underline{119,00}$$

$$\text{Diferencia : } 8,00$$

c) Diferencia de lecturas entre la correspondiente a la mayor concentración y la de la muestra :

$$1/60.000 = 127,00$$

$$\text{muestra:} = \underline{124,00}$$

$$\text{Diferencia : } 3,00$$

Veamos a qué concentración corresponderá una diferencia de lectura de 3,00 :

$$8,00 - - 20.000$$

$$3,00 - - X$$

$$X = \frac{20.000 \times 3,00}{8,00} = 7.500$$

d) Concentración de la muestra :

$$60.000 + 7.500 = 67.500; \text{ lo que corresponde a una concentración de } 1/67.500$$

e) Gasto de la corriente :

$$Q = q \frac{C}{c};$$

en donde :

Q : gasto de la corriente

q : gasto en el vaso a nivel constante

C/c : relación de concentraciones (véase el ejemplo anterior)

Sustituyendo valores :

$$q = 0,0215 \text{ l/seg. (diafragma N° 3)}$$

$$C/c = 67.500$$


$$Q = 0,0215 \text{ l/seg. } \times 67.451 = 1.451 \text{ l/seg.}$$

Luego el gasto de la corriente será de :

$$Q = 1,45 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

NOTA : La sensibilidad del colorímetro es de :

$$\pm 2\%$$



José Elías López G.
Ingeniero Agrónomo.

A N E X O

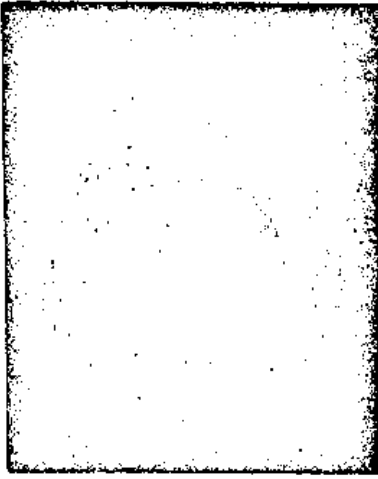
Vaso a nivel constante y accesorios :

- 1) Parte superior del vaso
- 2) Partes que integran el vaso
- 3) Parte inferior del vaso
- 4) Diafragmas, cedazo, pinza y rosca con tapón
- 5) Vaso a nivel constante completo con los accesorios de campo
- 6) Vaso a nivel constante completo
- 7) Equipo completo para el trabajo de campo

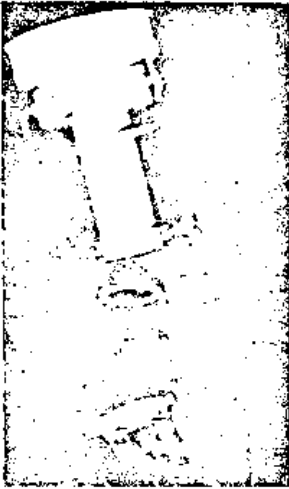
Utiles de Laboratorio :

- 8) Balones aforados
- 9) Frascos para recolectar muestras y vasos cristalizadores
- 10) Calentador y agitador magnético
- 11) Colorímetro

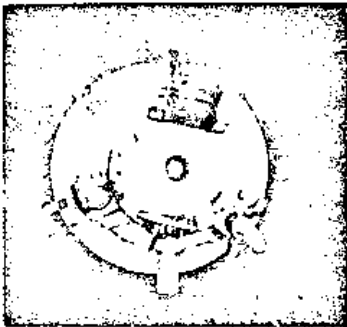
A N E X O



1



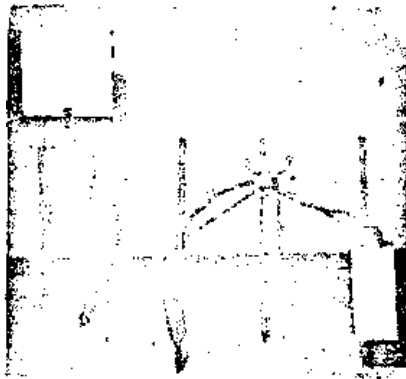
2



3



4



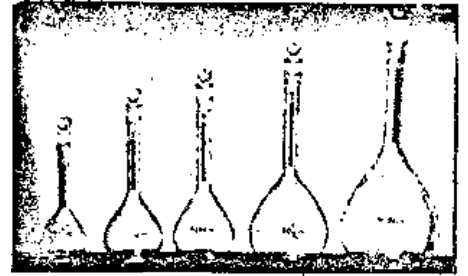
5



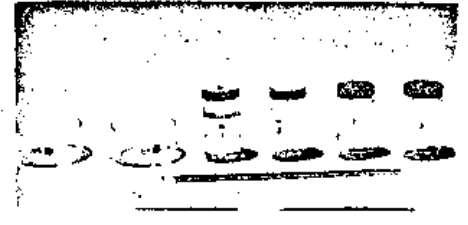
6



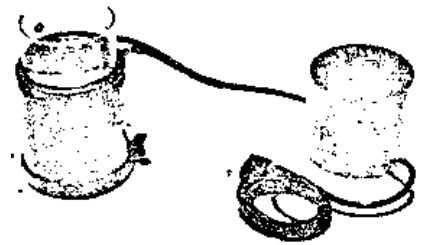
7



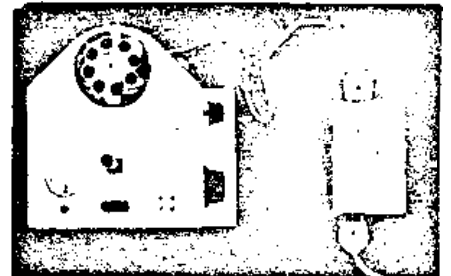
8



9



10



11