

Empezada la explotación, se regaron en 1864, 6.500 hectáreas; en 1865, 16.500 hectáreas; en 1866, 18.400 hectáreas, y á los veinte años sólo había 52.000 en riego, no pasando, para evitar filtraciones, de 12 metros cúbicos de agua por segundo el caudal suministrado, á pesar de ser de 33 metros cúbicos el gasto fijado para el Canal.

La lentitud en el desarrollo de los riegos del Urgel motivaba el temor de que lo mismo sucediese en la Litera, dando la razón á los que se resisten á proporcionar recursos al Estado para promover la ejecución de grandes obras hidráulicas.

Afortunadamente ha resultado todo lo contrario, y el éxito obtenido excede á los mayores optimismos.

Aprobado un presupuesto de unos 32 millones de pesetas para la construcción del Canal de Aragón y Cataluña, en el que se incluía más de millón y medio por obras hechas por los concesionarios, se terminaron en 31 de Diciembre de 1909, 311 kilómetros de Canal y acequias principales y 64 de cauces artificiales de desagüe, sin llegar á un coste de 320 pesetas por hectárea de zona regable.

Los propietarios de los terrenos, ávidos de gozar cuanto antes de los beneficios de los riegos, consiguieron que éstos empezasen en 1906, cuando sólo podían utilizarse 68 kilómetros de Canal y acequias del Estado, regándose ya al final de aquel año 5.958 hectáreas, y aumentándose en los años sucesivos de suerte que, al terminar oficialmente el periodo de construcción, había 18.317 hectáreas suscritas para el riego.

Durante el pasado año 1910, primero del periodo de explotación oficial, la suscripción llegó á 27.482 hectáreas, y actualmente son 40.787 las que pagan su canon de riego; pero la superficie que abarcan las acequias de distribución construídas por los particulares, derivadas de las 175 tomas concedidas, asciende á 70.692 hectáreas.

Mejor que los números indicados, el gráfico que acompañamos da clara idea de las tierras puestas ya oficialmente en riego; de los terrenos que están en condiciones de regarse por tener ya sus acequias de distribución y de lo regable por el Canal de Aragón y Cataluña, que queda aún de secano. Y para imaginarse con exactitud las enormes extensiones que representan las fajas, hay que suponer que el ancho de cada una de ellas es de 10 kilómetros y la longitud de la total de cada año 105 kilómetros.

El agua que el canal proporcionó para los riegos de 1906 fueron próximamente de 1.900.000 metros cúbicos, que se elevaron á 26.800.000 metros cúbicos en 1909, y á metros cúbicos 42.900.000 en 1910. Este año, en los ocho primeros meses, se han invertido en riegos 60 millones de metros cúbicos, y es posible que con los de sementera se llegue á 100 millones.

Podría temerse que al estar en riego toda la zona dominada por el canal, el río Essera que lo alimenta no proporcionase toda el agua necesaria; pero hay que desechar este temor. El año de menor caudal del Essera ha sido el 1908, en que sólo se han aforado unos 670 millones de metros cúbicos, bastando únicamente unos 400 millones, si admitimos la hipótesis, muy racional, de que los cultivos totales de toda la zona se reparten en un 60 por 100 de cereales de invierno; 20 por 100 de olivar y viña; 10 por 100 de cereales de verano y forrajes, y 10 por 100 de huerta, suponiendo que los primeros necesitan cuatro riegos de 500 metros cúbicos; los segundos, otros cuatro de 300 me-

tros cúbicos; los terceros, 10 de 500 metros cúbicos, y las huertas 28 riegos y medio de 500 metros cúbicos.

Lo que entonces será preciso es almacenar los sobrantes que en ciertas épocas lleva el río, por medio de un pantano regulador con embalse máximo de 25 millones de metros cúbicos que pudiera reducirse á la mitad aumentando el caudal del río con la captación de importantes manantiales en los Pirineos.

El importe de estas obras y de las necesarias para evitar filtraciones y asegurar permanentemente el creciente servicio del canal estarán sobradamente compensados por la inmensa riqueza creada en el país, que representa muchos millones de pesetas.

En efecto, para conseguir el valor de 2.000 pesetas por hectárea, que como promedio tienen los terrenos de regadío, basta hacer en los de secano, cuya adquisición, muy bien pagados, puede evaluarse en 400 pesetas, labores que podrán costar unas 600 pesetas, resultando un aumento de 1.000 por hectárea ó de más de 100 millones para la total zona regable. En cuanto á las cosechas difícil es prever el aumento de su valor al implantarse los cultivos intensivos, pero prescindiendo de éstos y concretándonos á los cereales puede fácilmente calcularse un mínimo anual. En la Litera, antes de los riegos no se podía contar más que con una cosecha buena cada cuatro años, con un producto de unas catorce simientes, siendo sólo de dos simientes en los otros tres años. Es decir, una producción media máxima de unos 11 hectólitros por hectárea y año, mientras que ahora puede asegurarse la de diez simientes anuales, ó sean 22 hectólitros por hectárea, y admitiendo como precio medio el de 20 pesetas por hectólitro, tendremos un aumento de 220 pesetas por año y hectárea, ó sean unos 23 millones de pesetas anuales en toda la zona.

Prueba de esta prosperidad es que no sólo ha cesado la emigración en los pueblos regados por el Canal de Aragón y Cataluña, sino que en todos ellos ha habido aumento de población, siendo de 500 el de habitantes en Tamarite de Litera (Aragón) y en Almacellas (Cataluña) y de 90 y 95 el de las casas recientemente construídas en sus respectivos términos.

JOSÉ SANS SOLER.

SERVICIO CENTRAL HIDRÁULICO

PROCEDIMIENTOS DE AFORO

Preliminares.

En esta parte se ofrece un resumen de los procedimientos de aforos practicados generalmente.

A los Ingenieros podrá servirles como recuerdo de los conocimientos que ya poseen en esta materia, y el resto del personal encontrará en ella datos convenientes para la práctica del servicio. Conservando los Ingenieros la libertad necesaria para la elección en cada caso del procedimiento de aforo que, á su juicio, haya de resultar más exacto, es conveniente que siempre que adopten alguno distinto de los que en esta parte se indica, lo comuniquen por conducto de la Jefatura á este Servicio central, justificándolo claramente, por si resultase conveniente tenerlo en

cuenta, en otra edición, como se ha hecho en la presente con los datos, aclaraciones y modificaciones que la práctica del servicio ha demostrado ser beneficiosas.

Se insiste aquí en señalar á la consideración del personal encargado de la práctica de los aforos, la conveniencia y necesidad de que estas operaciones sean realizadas con las mayores garantías de acierto, extremando en ellas el celo.

Ningún detalle debe ser olvidado, los trabajos han de ser efectuados con todo esmero, el personal auxiliar ha de ser experto y hallarse preparado con el mayor cuidado antes de que se confíe en él, y, finalmente, hay que consignar lealmente las dudas y el grado de confianza que los resultados puedan merecer cuando las operaciones no hayan podido ser conducidas de un modo satisfactorio.

El Servicio central concede á estas cuestiones, relacionadas íntimamente con la conciencia profesional del personal encargado de los aforos, la mayor importancia, pues las operaciones han de ser realizadas debidamente para que sus resultados merezcan crédito y no resulten infructuosos los sacrificios que se impone el Tesoro nacional.

Para los efectos del orden de exposición y para la referencia á los datos correspondientes incluidos en el Apéndice, se expone á continuación una clasificación de los aforos.

En realidad sólo se puede llamar aforos directos á los que consisten en medir directamente el caudal de una corriente, recogiéndolo en un recipiente de capacidad conocida y midiendo el tiempo empleado en llenarla.

Todos los demás sistemas de aforo se basan en el hecho de que el caudal es el producto del área de la sección mojada por la velocidad media de los filetes líquidos y consisten en determinar ambos factores por distintos procedimientos. Según sean éstos se puede subdividir estos aforos, que pudiéramos llamar indirectos en los grupos siguientes:

Aforos por medición directa de las velocidades.

Aforos por vertedero ó por salida por orificios.

Aforos por determinación indirecta de las velocidades.

Aforos directos.

Generalmente sólo es posible aplicarlos para la determinación del gasto de manantiales ó arroyos y el medio más sencillo consiste en recoger el agua en un recipiente de capacidad conocida, observando el tiempo que tarda en llenarse. La relación del volumen de agua al tiempo empleado da la medida del caudal. Con recipientes algo grandes y bien cubiertos se puede aforar corrientes de bastante caudal y llegar á una gran exactitud, sobre todo si la operación se repite varias veces.

Únicamente en casos especiales se podrá emplear este método en el aforo de corrientes de importancia. En un canal, por ejemplo, en el cual se conoce la capacidad de las esclusas, pueden servir éstas como recipiente, estableciendo convenientemente el acceso del agua. En un pantano total ó parcialmente vacío cuyo volumen es conocido, se puede determinar el caudal medio de la corriente alimentadora en el tiempo empleado para llenarle si se conoce con suficiente exactitud los coeficientes de permeabilidad del terreno y de evaporación del agua en la época en que se efectúa la operación. Conociendo la relación entre la altura del agua y los volúmenes parciales correspondientes á cada altura, es posible, por medio de lecturas de una escala, determinar en cada momento la cantidad de agua ingresada, y, por lo tanto, el caudal por segundo, teniendo siempre en cuenta la evaporación y la permeabilidad del terreno ó de sus capas sucesivas si varía con ellas.

Aforos por medición directa de velocidades.

En la mayor parte de los casos no es aplicable el procedimiento anterior y se puede recurrir á la medición del área de la sección transversal de la corriente y de la velocidad media en metros por segundo del agua, en esta sección. El producto de estas dos cantidades da el caudal por segundo. Este procedimiento es el que se emplea con más frecuencia en corrientes de alguna importancia.

Antes de describir los diversos procedimientos que se emplean para medir la velocidad de una corriente, es conveniente recordar que la velocidad media en una línea vertical es menor que la velocidad en la superficie, y que ésta á su vez es mayor en el centro de la corriente que cerca de las márgenes.

La relación entre las velocidades superficial y media, depende de la naturaleza de las paredes y fondo del cauce y de la forma de la sección; en la tabla I del Apéndice se dan sus valores aproximados en función de la clase de terreno y del radio medio.

Para determinar la velocidad media sería preciso conocer las correspondientes á todos los puntos de la sección, y, en la imposibilidad de hacerlo, se elige puntos determinados en los cuales la velocidad esté en una relación conocida con la media que se busca.

La medición se puede hacer por medio de flotadores, que pueden ser superficiales, de profundidad, compuestos ó los llamados varillas hidrométricas.

También se puede medir aquélla con aparatos adecuados entre los cuales se puede citar el tubo de Pitot y el de Darcy, los molinetes contadores, registradores ó eléctricos, y aun cuando son menos usados, los taquímetros y el péndulo hidráulico.

Flotadores.—Los superficiales miden la velocidad de los filetes líquidos en las capas más próximas á la superficie de la corriente y son ordinariamente pequeños pedazos de madera, de forma cilíndrica, con una sección de 0,05 metros de diámetro y una longitud de 0,35 metros aproximadamente. Algunas veces se emplean bolas de cera ó rodajas de corcho lastradas con clavos ó plomo. También se puede emplear bolas de madera de 10 á 12 centímetros de diámetro convenientemente lastradas, ó bolas huecas de latón provistas de una tapa atornillada á fin de poder introducir el lastre en su interior.

Debaue recomienda como muy práctico un flotador que consiste en un frasco de un decilitro aproximadamente de capacidad, al cuello del cual se une por un bramante delgado un tapón ordinario de corcho. Se lastra el frasco interiormente por medio de agua ó perdigones, y se tapa á fin de evitar que entre más agua en su interior. El lastre se calcula de manera que todo el aparato se sumerja quedando sólo el tapón de corcho en la superficie del líquido, lo que es fácil de conseguir después de algunos tanteos. Se tiene entonces, de tal suerte, un flotador casi insensible al viento y á la resistencia del aire y que se mueve con la velocidad media de los filetes próximos á la superficie.

Cunningham, en sus experimentos hidráulicos hechos en el canal del Ganges, empleó flotadores de madera en forma de discos de 3 á 6 milímetros de espesor y de dos modelos, uno de 76 milímetros y otro de 25 á 32 milímetros de diámetro.

En general, los flotadores de superficie deben reunir las siguientes condiciones:

1.^a Las partes expuestas al viento deben ser lo más reducidas posible, pero teniendo las dimensiones necesarias para ser fácilmente visibles y con flotación suficiente.

2.^a Las partes sumergidas deben ser pequeñas, á fin de producir la menor perturbación al movimiento natural del agua.

3.^a Tanto la parte sumergida como la que se halle fuera del agua deben ser de una forma tal que presenten á la corriente y

al viento, respectivamente, una superficie sensiblemente constante, aunque el instrumento gire sobre sí mismo durante el movimiento.

4.ª Ser de fácil manejo y bastante fuertes para resistir sacudidas algo bruscas.

5.ª Ser económicos y ligeros, á fin de poder ser fácilmente construídos y transportados en grandes cantidades.

Los flotadores sumergidos que sirven para determinar la velocidad á diversas profundidades de la corriente, consisten en un sistema de dos flotadores unidos entre sí por una cuerda ó alambre; el flotador de superficie sostiene un flotador inferior más voluminoso y lastrado de manera que se sumerja á la profundidad que se desee. Para que este instrumento funcione convenientemente, es preciso:

1.º Que la velocidad común del sistema sea la misma que la de la capa líquida en que está sumergido el flotador inferior.

2.º Que el flotador inferior se mantenga á la profundidad á que ha sido sumergido desde un principio.

Estas dos condiciones no pueden ser realizadas nunca completamente. El flotador inferior es arrastrado por el flotador de superficie y por la cuerda, y este efecto es tanto más sensible cuanto mayor sea la longitud de aquélla. Por otra parte, los movimientos irregulares que se propagan sin cesar en la masa líquida tienden, cuando la velocidad de la corriente es algo grande, á desplazar verticalmente el flotador inferior, llevándole á capas en que la velocidad es más grande. De ahí dos causas de error, que aumentan, con la profundidad una, y la otra, con la velocidad absoluta, contribuyendo las dos á dar indicaciones exageradas de la velocidad.

Dedúcese de esto, que la exactitud del doble flotador disminuye cuando la profundidad de inmersión del cuerpo inferior aumenta, y que, para un instrumento determinado hay un límite de profundidad, pasado el cual deja de dar una aproximación suficiente en la medida de la velocidad profunda.

Teniendo esto en cuenta y recordando lo dicho sobre los flotadores de superficie, resulta generalmente preferible al uso de éstos y de los muy profundos, el empleo de flotadores á media profundidad. La relación de la velocidad media de una corriente á la velocidad á media profundidad está más exenta de incertidumbre y más libre de la influencia del viento y de la agitación del agua que la superficial. Se puede aceptar como primera aproximación que la velocidad media en una vertical es el 95 por 100 de la que existe á la mitad de profundidad.

También puede situarse el cuerpo sumergido del flotador á los $\frac{2}{3}$ de la profundidad, porque aproximadamente el filete situado á esta distancia de la superficie está animado de la velocidad media.

En ambos casos no se debe olvidar que se acepta deliberadamente un error que no es constante en todas las circunstancias, puesto que está influido por la forma y naturaleza de la sección, por la profundidad del cauce y por la proximidad de las orillas, elementos que hacen variar la forma de la curva de velocidades. Este error puede compensar ó aumentar el que resulta de suponer que el sistema de los dos cuerpos marcha á la velocidad correspondiente al sumergido.

Cunningham en sus primeros experimentos en el canal del Ganges empleó dobles flotadores, adoptando las siguientes dimensiones:

Superficie del flotador inferior, 0,456 decímetros cuadrados.

Superficie del flotador superior, 0,048 decímetros cuadrados.

Diámetro del hilo, 0,3 milímetros (superficie, 0,083 decímetros cuadrados para una inmersión máxima de 2,75 metros).

$$\text{Relación } s = \frac{0,131}{0,456} = 0,29.$$

A fin de reducir todo lo posible la influencia perturbadora del cordón de enlace entre los flotadores, Cunningham empleaba hilos de seda muy finos y aceitados además para evitar la absorción de agua.

Nazzani y Zucchelli, en los experimentos realizados en el Tíber, emplearon flotadores de las dimensiones siguientes:

Superficie del flotador inferior, 4,62 decímetros cuadrados.

Superficie del flotador superior, 0,46 decímetros cuadrados.

Diámetro del cordón, 1,5 milímetros (superficie, 0,37 decímetros cuadrados para una inmersión máxima de 2,50 metros y de un decímetro cuadrado para una inmersión de 9 metros.

De estas dimensiones resultan las relaciones siguientes:

$$s = \frac{0,83}{4,62} = 0,18 \text{ para el primer grupo de experimentos y}$$

$$s = \frac{1,81}{4,62} = 0,39 \text{ para el último grupo.}$$

En los afloramientos del Misisipi emplearon los Ingenieros americanos barriles sin fondo lastrados con aros de plomo, de manera que quedasen siempre verticales; cada barril se unía por medio de una cuerda á un flotador de superficie que llevaba una varilla de alambre sosteniendo una pequeña bandera.

Quando se trata de determinar la velocidad media de una corriente de alguna importancia por medio de flotadores, es preciso tomar la precaución de dividir el ancho de la misma en varias secciones, y considerar cada una de ellas de un modo independiente, pues sabido es que la velocidad en las diversas secciones no es la misma, hallándose la mínima en las inmediatas á las márgenes, aumentando á medida que crece la profundidad. Se obtiene bastante exactitud en la determinación de la velocidad media de una corriente, procediendo en la siguiente forma:

Se empieza por buscar un tramo de río, lo más recto y uniforme que sea posible, con una pendiente suave y constante; sin que la corriente se halle perturbada por rocas, hierbas, torbellinos ó grandes árboles. Se mide una base constituida por una paralela á la dirección de dicha corriente y lo más cerca posible de la misma. La longitud de la base conviene sea mayor de 20 metros, pero no necesita exceder del ancho de la corriente, si ésta es de alguna anchura, pudiendo ser menor cuando la corriente sea muy ancha. En este caso, y con el fin de dar una regla definida, se puede tomar para longitud de la base cinco veces la raíz cuadrada del ancho. Se marca los dos extremos de la base y por

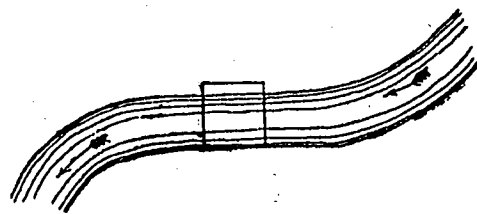


Fig. 1.ª

ellos se traza dos perpendiculares á la misma que atraviesan de parte á parte la corriente y reciben el nombre de líneas de tráfago superior é inferior respectivamente (fig. 1.ª). Sobre estas líneas se extiende cables á través de la corriente, se los sujeta por sus dos extremos y se los divide en un cierto número de partes iguales que son señaladas por medio de chapas metálicas ó de cartón. Cada chapa lleva un número indicando su distancia á una de las márgenes, por ejemplo, á la izquierda, si la base se ha medido en la orilla derecha. Se mide la profundidad del agua en

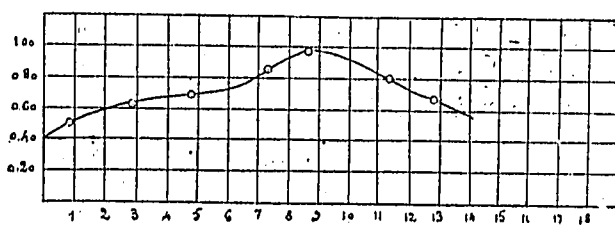
la vertical correspondiente á cada chapa, en las dos líneas de tránsito, se toma el término medio de las profundidades en dos chapas situadas á igual distancia de la base, y con esto se deduce el perfil transversal del lecho del río, como se ve en la figura 2.^a

Fig. 2.^a

El auxiliar que arroja los flotadores desde un bote ó vadeando el río hace también los sondeos, y suponiendo que se opera con dobles flotadores, ajusta éstos de manera que el flotador sumergido esté á la mitad de la profundidad en la sección correspondiente. Además, observa las distancias á que cada flotador cruza las líneas de tránsito. El que está encargado de anotar el tiempo empleado en recorrer el espacio comprendido entre las líneas de tránsito, una vez hecho esto, toma del otro auxiliar las distancias que anota también en su libreta. Conviene que el observador vaya provisto de un contador de segundos; pero si es experto, puede muy bien operar con un reloj ordinario, aplicán-

1 Número de los flotadores.	2 Pro- fundidad del flotador sumergido.	3 Distancia á la orilla izquierda.				7 Tiempo emplado por el flotador en recorrer 20 metros. Segundos.	8 Velocidad. — Metros por segundo.	9 Area parcial por cada metro de anchura — Metros cuadrados.	10 Velocidad por cada metro de anchura. — Metros por segundo.	11 Gasto por cada metro de anchura. — Metros cúbicos por segundo.
		Propuesta.	En la línea de tránsito superior.	En la línea de tránsito inferior.	Media.					
1	0,3	1,00	0,85	0,95	0,90	40,0	0,50	0,16	0,47	0,075
2	0,5	3,00	3,10	2,80	2,95	32,3	0,62	0,34	0,54	0,184
3	0,7	5,00	5,15	4,45	4,80	28,2	0,71	0,47	0,60	0,282
4	0,8	7,00	6,70	7,80	7,25	23,8	0,84	0,56	0,65	0,364
5	0,9	9,00	8,10	9,20	8,65	20,8	0,96	0,65	0,69	0,448
6	0,7	11,00	10,80	11,90	11,35	25,0	0,80	0,74	0,72	0,533
7	0,6	13,00	13,00	12,60	12,80	29,4	0,67	0,80	0,76	0,608
Suma de los gastos sin corregir.....										
6,713										

dolo al oído y contando el número de golpes, con lo cual y conociendo el número de ellos que por segundo da el reloj, deduce en seguida el tiempo empleado por los flotadores. El anterior cuadro, en conexión con las figuras 2.^a y 3.^a, indica la manera de hacer la anotación y computación de varias mediciones. El diagrama de la figura 3.^a está construido tomando las distancias de la columna 6.^a, como abscisas, y las velocidades de la columna 8.^a como ordenadas. La columna 10 contiene la velocidad media por cada metro de anchura, deducida del diagrama antes citado. La columna 9.^a contiene las áreas parciales de la sección transversal por cada metro de anchura, á la que se aplican las velocidades de la columna 10, y la columna 11 el producto de las cantidades correspondientes de la 9.^a y la 10. La suma de las cantidades de la columna 11 será el caudal total de la corriente; pero teniendo en cuenta que los flotadores se han dispuesto de manera que den la velocidad de la corriente á la mitad de su profundidad, será preciso multiplicar esa suma por 0,95 para obtener el verdadero gasto de la corriente.

Fig. 3.^a

En la aplicación de este procedimiento á los ríos profundos y tan anchos que los flotadores no puedan ser distinguidos á simple vista, y sobre todo en los ríos navegables, las líneas de tránsito no pueden estar señaladas por medio de cuerdas. En lugar de éstas se coloca un teodolito ó instrumento análogo, en cada uno de los extremos de la línea base, las cuales sirven para marcar los tránsitos y posiciones de los flotadores. Estos son arrojados desde un bote anclado en el río cerca de la línea de tránsito superior; el observador de aguas arriba tiene su instrumento enfilando la línea de tránsito y el de aguas abajo tiene el suyo enfocando el flotador. Cuando el flotador cruza la línea de tránsito superior, el observador de aguas arriba da una señal convenida y el de aguas abajo toma el ángulo con la base, con lo que queda determinada la posición del flotador en la línea de tránsito superior. De una manera análoga se fija la posición del flotador al cruzar la línea de tránsito inferior.

Los flotadores que designamos con el nombre de compuestos constan de dos cuerpos que ofrecen á la acción de las aguas la misma superficie, unidos entre sí por los mismos medios que los descritos anteriormente, y en este caso la velocidad v del sistema, que es la que se aprecia con ellos, es una media aritmética entre la v_s , que tendría el cuerpo superficial, y la v_p correspondiente al sumergido, si marchasen independientemente, de modo que $v = \frac{v_p + v_s}{2}$, de donde $v_p = 2v - v_s$.

Es decir, que conociendo v por medio del flotador compuesto y midiendo v_s por medio de flotadores superficiales, se puede conocer la velocidad á la profundidad p que se ha propuesto. Este procedimiento descarta una de las causas de error que concurren en el sistema anterior, pero introduce las que proceden de la medición directa de la velocidad superficial.

Quando se trata de determinar la velocidad en canales artificiales de fondo uniforme, conviene emplear otro sistema de flotadores llamados varillas hidrométricas, que consisten en pértigas ó tubos de hoja de lata ú otro metal, de unos 5 centímetros

de diámetro, lastrados de manera que se sumerjan verticalmente en el agua, con su extremo inferior próximo al fondo, pero sin llegar á tocarlo, y el superior sobresaliendo de la superficie del agua unos 15 ó 20 centímetros. Este género de flotadores da aproximadamente la velocidad media del agua en una vertical.

Teóricamente, la longitud de la varilla debe ser igual á la profundidad, para que integre todas las velocidades, pero si así fuese, el extremo inferior rozaría con el fondo, retrasando el movimiento irregularmente. Además, la resistencia del aire en la parte no sumergida es también una causa de retraso. Por estas razones, y teniendo en cuenta la masa de la varilla, se da á ésta una longitud de 0,92 á 0,94 de la profundidad, para la cual se ha calculado y ha demostrado la experiencia que se verifica una compensación, puesto que deja de apreciar las velocidades menores que son las más próximas al fondo, y la media obtenida es, por lo tanto, algo superior á la que resultaría tomándolas en cuenta. Este sistema está indicado principalmente en el aforo sistemático y regular de canales.

En este caso, si éste no es de fábrica, se empieza por sustituir un trozo por una canal de madera, que recibe el nombre de *canal ó tramo de aforo*, con cajeros planos, verticales y paralelos, y solera también plana y sin resaltos. Para instalaciones definitivas, el tramo de aforo puede ser de fábrica, y cuando el canal es de esta clase y sus cajeros verticales, el aforo puede practicarse en un tramo cualquiera de sección y pendiente constantes. Las líneas de tránsito se señalan por medio de maderos escuadrados que se fijan á través de la canal. La cara vertical de agua arriba de estos maderos se marca con divisiones bien visibles que indican la distancia al lado izquierdo de la canal de aforo. Para facilitar las computaciones de la velocidad, conviene que para la distancia entre las dos líneas de tránsito se adopte un número redondo, por ejemplo, 10 ó 20 metros. Se construye un puentecillo, que puede consistir sencillamente en dos piezas escuadradas, situadas unos 4 ó 5 metros agua-arriba de la línea de tránsito superior, y otra igual y á la misma distancia por debajo de la línea de tránsito inferior. El puentecillo de arriba lleva también señales indicando las distancias al cajero izquierdo.

Para proceder á la medición el operador necesita el auxilio de tres personas: primera, un peón inteligente que arroja los flotadores; segunda, otro que los saca del agua, y tercera, otro que recoge los flotadores del núm. 2 y se los lleva al núm. 1. Una medición previa de la canal de aforo indica la altura del agua y la longitud de tubo que se requiere. El operador se coloca en la línea de tránsito superior en la orilla derecha, el cronómetro y la libreta en las manos y el lápiz en la boca. En la libreta, arreglada con las columnas apropiadas, anota la hora al empezar la operación, la altura del agua y la longitud del tubo empleado. El auxiliar núm. 1, colocado en el puentecillo de agua-arriba, arroja los flotadores á intervalos regulares guiado por las señales que hay en aquél. Esta es una operación que requiere alguna destreza. El operario se coloca arrodillado en el puentecillo con la cara hacia agua-abajo, y en esa posición introduce el tubo en el agua oblicuamente de modo que su extremo inferior entre lo más agua-arriba que sea posible, lo sostiene hasta que la corriente lo lleva á una posición vertical, y entonces lo abandona, teniendo cuidado al soltarlo que esté en su verdadera profundidad de inmersión, pues de otra manera puede oscilar y quizás tropezar en el fondo.

El operador, después de anotar la distancia del tubo á la orilla izquierda, que le es comunicada por el auxiliar núm. 1, pone en movimiento su cronómetro al atravesar el flotador la línea de tránsito superior y se traslada rápidamente á la línea de tránsito inferior. Detiene el cronómetro cuando el flotador cruza

dicha línea y después de anotar el intervalo de tiempo empleado por el tubo en recorrer el espacio comprendido entre las dos líneas de tránsito, recibe del auxiliar núm. 2 la distancia á que el flotador ha pasado de la margen izquierda en la línea de tránsito inferior, regresando luego á la estación superior para continuar operando en la misma forma. Cuando la velocidad del agua excede de metro y medio por segundo, el trabajo resulta demasiado fatigoso para el operador y conviene tener una persona más encargada de registrar las anotaciones en la libreta,

El empleo de flotadores, principalmente cuando presentan mucha superficie fuera del agua, requiere una atmósfera tranquila. Con vientos algo fuertes los resultados no pueden merecer confianza.

En las estaciones permanentes se puede tener determinada por observaciones anteriores la relación entre la velocidad media en la sección y la velocidad máxima superficial, y en caso de crecidas, en las que no se pueda medir las velocidades á profundidad conveniente ni hacer otra cosa quizá que observar un flotador correspondiente al filete superficial de mayor velocidad, se puede, multiplicando la obtenida por la relación ya conocida, obtener una idea aproximada del caudal. Para que merezca alguna fe este dato es preciso que, en el tramo á que se refiere la operación, el cauce de avenidas sea, en lo posible, regular, que los taludes no cambien bruscamente de inclinación y no presente, por lo tanto, al llegar á determinada altura, un ensanchamiento brusco. En una palabra, que se pueda suponer que la relación obtenida en circunstancias normales no se altera demasiado al aumentar la altura de las aguas.

Aparatos de medida de velocidades ó hidrómetros.—Se fundan en la apreciación por diversos medios, de los efectos producidos por la marcha de los filetes líquidos, para deducir de ellos la velocidad que los anima. En unos, el efecto es un movimiento; generalmente, la rotación de paletas ó hélices convenientemente dispuestas. En otros se traduce en una presión que se mide por procedimientos distintos. Al primer grupo pertenecen los molinetes. Al segundo los tubos de Pitot y de Darcy, los hidrotaquímetros y el péndulo hidráulico.

Molinetes.—Estos consisten en principio en una rueda de paletas, que, introducida en el agua, gira con una velocidad que depende de la de la corriente. La rueda está en conexión con un aparato de relojería destinado á señalar el número de vueltas. La teoría de estos aparatos es la siguiente:

Sea v la velocidad de la corriente, n el número de revoluciones del molinete por segundo, a y b dos constantes particulares en cada aparato; se admite ordinariamente, que

$$v = a + b n.$$

Y como a es una cantidad generalmente muy pequeña, se puede despreciar y considerar á v como proporcional á n .

Se ha ideado para estos aparatos muchas formas y disposiciones, cuyos detalles se puede estudiar en los tratados especiales, y sobre todo en los catálogos de las casas constructoras de los mismos; bastará dar aquí indicaciones generales sobre los mismos.

Algunos molinetes presentan el inconveniente de que es preciso, en cada operación, retirarlos del agua para hacer la lectura del número de vueltas efectuadas por las aletas y volverlos á sumergir en seguida para la observación siguiente, resultando de estas maniobras repetidas una pérdida de tiempo que, además, puede influir en los resultados obtenidos, sobre todo cuando se trata de una corriente de importancia, puesto que es esencial, si se quiere obtener un buen aforo, operar rápidamente á fin de

evitar en lo posible las variaciones de altura y de gasto que pueden sobrevenir mientras dura la operación.

Para evitar este inconveniente, en algunos aparatos se ha establecido un contador eléctrico que permite la lectura del número de revoluciones del molinete, sin que sea necesario retirarlo del agua. El molinete está en comunicación eléctrica con la plataforma en que se encuentra el observador, quien tiene así conocimiento á cada instante del número de vueltas, sin mover el instrumento.

Se concibe fácilmente que una pila colocada cerca del observador pueda unirse al molinete por medio de un conductor colocado en el tubo soporte; este hilo se puede disponer de tal manera, que cada rotación produzca una interrupción momentánea de la corriente, y que á cada período de 50 ó 100 vueltas, por ejemplo, se produzca una señal determinada, ya sea acústica, óptica ó gráfica.

Se puede también disponer un aparato registrador gráfico intercalando en la corriente eléctrica una banda de papel animada de una velocidad conocida, que recibe la impresión de una pluma ó lápiz durante el tiempo de cada contacto, como en los aparatos Morse. A cada rotación corresponde un trazo, y el examen del gráfico permite darse cuenta inmediata de la regularidad de la corriente, de sus variaciones continuas en cada punto, y de la periodicidad de dichas variaciones.

Los molinetes pueden también servir de integradores para determinar la velocidad media en una vertical. La del agua en un punto se obtiene, como es sabido, multiplicando el número de vueltas efectuadas por el molinete durante un segundo, por un coeficiente numérico particular para cada aparato, del que más adelante se indica el modo de determinarlo.

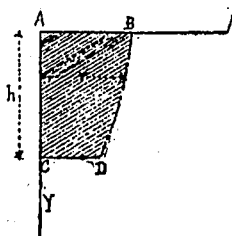


Fig. 4.ª

Si después de haber hallado la velocidad en los diferentes puntos de una vertical se construye una curva que tenga por ordenadas las alturas sobre el fondo y por abscisas las velocidades correspondientes (fig. 4.ª), la velocidad media será el cociente que resulta de dividir el área de la superficie $A B C D$ por la altura $A C$, pudiendo ser expresada por la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{\int_0^h v \, dy}{h}$$

Esta velocidad media cabe obtenerla por medio de un molinete que pueda deslizarse á lo largo de la varilla ó tubo que le sostiene y que esté provisto de un aparato registrador gráfico. Para ello es suficiente dejar descender el molinete con una velocidad uniforme y examinar sobre el gráfico el número n de vueltas efectuadas durante el descenso, cuya duración t se obtiene por medio de un contador de segundos. El cociente $\frac{n}{t}$ da el número de vueltas correspondientes á la velocidad media, la cual, por lo tanto, se obtiene multiplicando este cociente por el coeficiente numérico del instrumento.

La determinación del coeficiente ó coeficientes numéricos de

cada instrumento se puede hacer partiendo de diferentes fórmulas.

Para el molinete de Woltmann la que relaciona la velocidad con el número de vueltas, es

$$v = a + b n$$

en la que a es muy pequeño, según se ha indicado.

En el molinete perfeccionado de Baumgarten, la fórmula es

$$v = 0,3595 n + \sqrt{A n^2 + B};$$

pero la más sencilla es la dada por d'Aubuisson:

$$v = A n.$$

Se puede hacer la determinación de los coeficientes numéricos de un instrumento, operando en aguas tranquilas ó en aguas corrientes.

En el primer caso se animará el molinete de una velocidad conocida; y sustituyendo esta velocidad y el número de vueltas que dé el instrumento en las fórmulas antes citadas, se deducirá las constantes correspondientes.

Se puede operar de la siguiente manera:

Se coloca en línea recta en las orillas de un estanque ó canal una doble serie de jalones igualmente espaciados de 50 en 50 metros ó de 100 en 100 metros, por ejemplo.

El operador se coloca en una barca con el instrumento, á alguna distancia del primer jalón; después se imprime á la barca por medio de una cuerda un movimiento uniforme, y el operador sumerge el instrumento en el agua para que las aletas tomen un movimiento regular, de manera que cuando la barca llegue á la primera sección, v y n adquieran los valores correspondientes á la marcha normal. Entonces se empieza á contar el tiempo y el número de vueltas del instrumento hasta recorrer la distancia fijada.

En la práctica se ha observado que los coeficientes numéricos varían algo con las velocidades, lo cual indica que las fórmulas propuestas para relacionar la velocidad y el número de vueltas tienen, en realidad, forma más compleja que la supuesta. Es, por tanto, necesario determinar los coeficientes correspondientes á diferentes velocidades, es decir, á diferente número de vueltas del molinete por segundo, para cada aparato cuidadosamente y verificar periódicamente una revisión, repitiendo la tara, de modo que se adquiera el máximo de confianza en las indicaciones.

Así, pues, si se trata de aforar un curso de agua del que se conoce aproximadamente la velocidad v por segundo, es preciso hacer la operación en agua estancada imprimiendo á la embarcación, en lo que sea posible, esta misma velocidad v por segundo.

Para operar en aguas corrientes hay que determinar primeramente la velocidad por medio de cualquier instrumento de aforo distinto del molinete que se ensaya. Esta operación se puede hacer valiéndose de otro molinete ya graduado que merezca confianza ó empleando flotadores cuando sea absolutamente imposible emplear otro medio.

Si se recurre á estos últimos, se determina primero la velocidad de un filete líquido á una cierta profundidad, y en seguida se coloca el molinete á esa misma profundidad, la cual debe ser siempre suficiente para que las aletas estén completamente sumergidas; se lee entonces el número de vueltas correspondientes al camino recorrido en un tiempo dado, y se deduce el número de vueltas por segundo que corresponde á la velocidad v .

Se repite la operación para profundidades diferentes. Así se tiene un cierto número de valores de n correspondientes á un mismo número de velocidades conocidas.

Se puede entonces construir una curva que exprese gráficamente las relaciones existentes entre esos diferentes valores, curva de la que se deducirá la fórmula algebraica especial del instrumento graduado.

Para hacer un aforo por medio de molinete es preciso llegar á todos los puntos de la sección transversal de la corriente. Esto se consigue, cuando la corriente no es muy ancha, estableciendo un paso ó puente por medio de tabloncillos, y en otro caso aprovechando algún puente construido en lugar adecuado. Cuando el río es navegable, se hace uso de un bote que se amarra, en cada una de las estaciones en que se mide la velocidad, á un cable bien atirantado que atraviesa la corriente. Otro procedimiento consiste en tender un cable metálico suspendido sobre dos postes colocados en las márgenes. Cada extremo del cable pasa sobre uno de los postes y va á amarrarse á un cuerpo fuertemente empotrado en el suelo. El cable se atiranta por medio de un tornillo tensor colocado entre uno de los postes y el punto de amarre inmediato. Sobre este cable se cuelga un pequeño carretón por medio de dos poleas que permiten un movimiento fácil á lo largo del cable. Al lado de éste, ó inmediatamente sobre él, se coloca un alambre delgado que lleva á intervalos, de un metro, por ejemplo, una serie de chapas en las que se marcan las distancias á una de las orillas.

En cada estación suelen hacerse tres mediciones de velocidad, una próxima á la superficie, otra á media profundidad y otra cerca del fondo. Conviene que la varilla ó pértiga que sostiene el molinete esté dividida por medio de una escala. La primera lectura se hace á unos 30 centímetros de la superficie, la segunda cerca del fondo hasta donde pueda llegar el molinete tropezando la pértiga en el mismo fondo, y en esta posición se observa la profundidad. Después se hace la tercer lectura á media profundidad. Procediendo de esta forma se obtiene, al mismo tiempo que las velocidades, la sección transversal de la corriente.

El modo de usar el molinete, ó, mejor dicho, los puntos de la sección transversal donde se ha de colocar, varían con la naturaleza de la corriente que se ha de medir. En un canal artificial de sección regular y, sobre todo, en lo que se ha llamado anteriormente canal de aforo, hay, por lo general, mucha menos diferencia entre las velocidades de los diversos puntos de una sección; así es que puede reducirse el número de observaciones con el molinete, sin disminuir la exactitud de los resultados. En la figura 5.^a se ve la sección transversal de una canal de aforo que se supone dividida en cuatro porciones ó compartimientos. En el de la izquierda, señalado con el núm. 1, se ha dibujado con líneas de punto y flechas un diagrama que indica uno de los medios de usar el molinete.

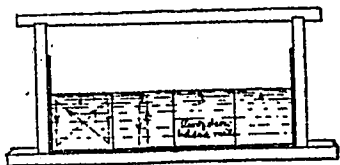


Fig. 5.^a

A partir de la superficie, el molinete se sumerge despacio hasta el fondo, á lo largo de una de las paredes del canal de aforo, después se traslada diagonalmente hacia arriba hasta la superficie, en seguida se sumerge de nuevo verticalmente hacia el

fondo y de ahí diagonalmente hasta el punto de partida. El aparato debe moverse de un modo lento y continuo. El número de segundos para completar este circuito es, por lo general, de 50 á 75, y se cuentan al mismo tiempo que el número de revoluciones del molinete. Este procedimiento que suele llamarse por integración, da desde luego la velocidad media del agua.

En la división núm. 2, el molinete se sumerge de una manera lenta desde la superficie al fondo, elevándolo de nuevo á la superficie en la misma forma, integrando el molinete en este movimiento la velocidad alrededor de la vertical del centro de dicha división, lo que es aceptable en una canal donde á cierta distancia de las paredes el movimiento del agua, en sentido horizontal, puede considerarse uniforme.

Un tercer procedimiento para obtener la velocidad media se indica en la división núm. 3, donde el molinete se mantiene fijo durante unos cincuenta á cien segundos en el punto de velocidad media, que en una canal de aforo está situado próximamente á los tres quintos de la profundidad, contados por debajo de la superficie.

Siempre que sea posible, se debe emplear uno de los procedimientos indicados en los núms. 1 y 2, puesto que son los que más exactamente determinan la velocidad media, y en los casos de corrientes naturales en las cuales se divide la anchura total en secciones, según se ha dicho, se recomienda el núm. 2, que siendo más rápido da con suficiente exactitud la velocidad media correspondiente á la vertical del centro de cada sección. Sólo cuando la necesidad de operar muy rápidamente ó otras circunstancias especiales impidan proceder así, se limitará el operador á determinar la velocidad en un solo punto determinado, en la superficie ó en el correspondiente á la velocidad media, pues la distancia de éste á la superficie, varía entre límites considerables (de 0,57 á 0,73 de la profundidad), sin que se pueda determinar *a priori* cual corresponde en cada caso.

En resumen, se debe por un medio ú otro trazar la curva de las velocidades en cada vertical lo más exactamente que se pueda y dividiendo el área por la profundidad se tiene la velocidad media con la mayor aproximación.

Tubo de Pitot.—Si en una corriente se introduce un tubo encorvado, presentando el orificio de la parte encorvada, frente á los filetes líquidos animados de una cierta velocidad, el agua que llena el tubo asciende una cierta cantidad sobre la superficie del agua, y si se invierte la posición colocando la parte encorvada en dirección normal á la corriente ó con el orificio hacia agua-abajo, el nivel del agua dentro del tubo desciende. Como estas alturas ó depresiones son proporcionales al cuadrado de la velocidad, se puede, haciendo una tara exacta del aparato que determine el coeficiente de $\sqrt{h}$, calcular V , conocida h .

Tubo de Darcy.—Como las alturas h que da el tubo de Pitot son pequeñas, y las oscilaciones producidas por las irregularidades de la corriente pueden ser del mismo orden, resultan las lecturas muy expuestas á error, y para evitarlo, Darcy ideó el colocar dos tubos con las partes encorvadas dirigidas en sentido contrario, de modo que, colocados en la dirección de los filetes, en una de ellas produzca la corriente una elevación y en la otra una depresión, con lo cual la diferencia de altura en las dos ramas es la suma de las dos. Si después se cierra una llave colocada en la parte inferior para incomunicar las columnas líquidas con el agua exterior, se puede leer el desnivel sacando el aparato del agua. Para elevar el nivel por encima de la superficie del agua y poder leer sin sacar el aparato, se abre una llave colocada en la parte superior y se hace una succión hasta que los meniscos estén á la altura que convenga.

Péndulo hidráulico.—Es un péndulo al que la velocidad del agua impulsa y hace tomar una cierta inclinación hasta llegar al equilibrio. En esta posición el ángulo de la varilla con la vertical es proporcional á la velocidad y sirve para medirla graduando convenientemente el aparato.

(Continued.)

La región sometida a la desecación se divide en dos cuencas:



la cuenca superior de 16.158 hectáreas, cuyo drenaje puede obtenerse normalmente por la antigua estación elevadora de Codigoro, y la cuenca inferior, de 36.370 hectáreas, en la que una nueva estación, actualmente en vías de conclusión, eleva las aguas. A esta última cuenca puede unirse la región de Salghèa, de una superficie de 1.662 hectáreas, cuyo drenaje se efectúa por una subestación eléctrica especial, dependiente de la fábrica de Codigoro.