

Aforo de ríos

POR

GUSTAVO LIRA

(Conferencia dada en sesión del 7 de Agosto de 1914)

El aprovechamiento racional de las aguas superficiales que escurren por un territorio, no puede hacerse sin el conocimiento de su régimen. En efecto, una industria que obtenga de una caída de agua la energía necesaria para el movimiento de sus maquinarias, o que emplee agua en la elaboración de sus productos; una explotación agrícola que consuma agua para el riego de terrenos, no se podrían establecer en condiciones de seguridad, economía y máximo provecho, si no se conocen con exactitud las variaciones que puede experimentar este elemento, el agua, del cual dependen.

En Chile, estamos acostumbrados a aceptar como una verdad que poseemos una riqueza en nuestras aguas. Pero es menester no equivocarse sobre el significado de esta palabra riqueza. Novicow (*) ha definido este concepto: riqueza es todo estado de la naturaleza exterior que se adapta a las necesidades del hombre; riqueza es también todo mecanismo o procedimiento artificial por medio del cual el hombre se adapta a la naturaleza o hace que ésta se adapte a sus necesidades.

En nuestro país, tenemos más al sur del desierto, o sea en la región central y sur, una elevada cordillera, cuyas altas cumbres distan sólo 200 kilómetros del mar, y de la cual bajan rápidamente hacia el Océano innumerables cursos de agua. Estos cursos recojen las precipitaciones meteóricas y arrastran desde las cumbres cordilleranas el agua de las nieves que funden los calores del sol, doble alimentación de donde nacen sus características principales: en los ríos del norte (Aconcagua al Cachapoal), creces regulares de primavera y de verano y creces extraordinarias pero fugaces en los días de lluvias del invierno; en los ríos del sur, por el contrario, y a causa de la repartición más regular de las lluvias durante el año, creces regulares durante los meses de invierno.

(*) Novicow. — LES GASPILLAGES.

En poco más de 200 kilómetros de recorrido, estas masas de agua descienden desde 3 o 4 mil metros de altura. En estas condiciones, todos nuestros terrenos planos pueden ser dominados por el agua y por consiguiente regados, y en todas partes se pueden establecer caídas de agua y utilizar su energía. Hé aquí lo que nos ofrece la naturaleza exterior: hé aquí la mitad de la riqueza.

La otra mitad es la obra del hombre: el aprovechamiento racional de estas condiciones naturales. Este aprovechamiento puede ser irracional por causa de varios errores, entre los cuales hay que colocar en primer lugar los que derivan de la falta de conocimiento del régimen de las aguas.

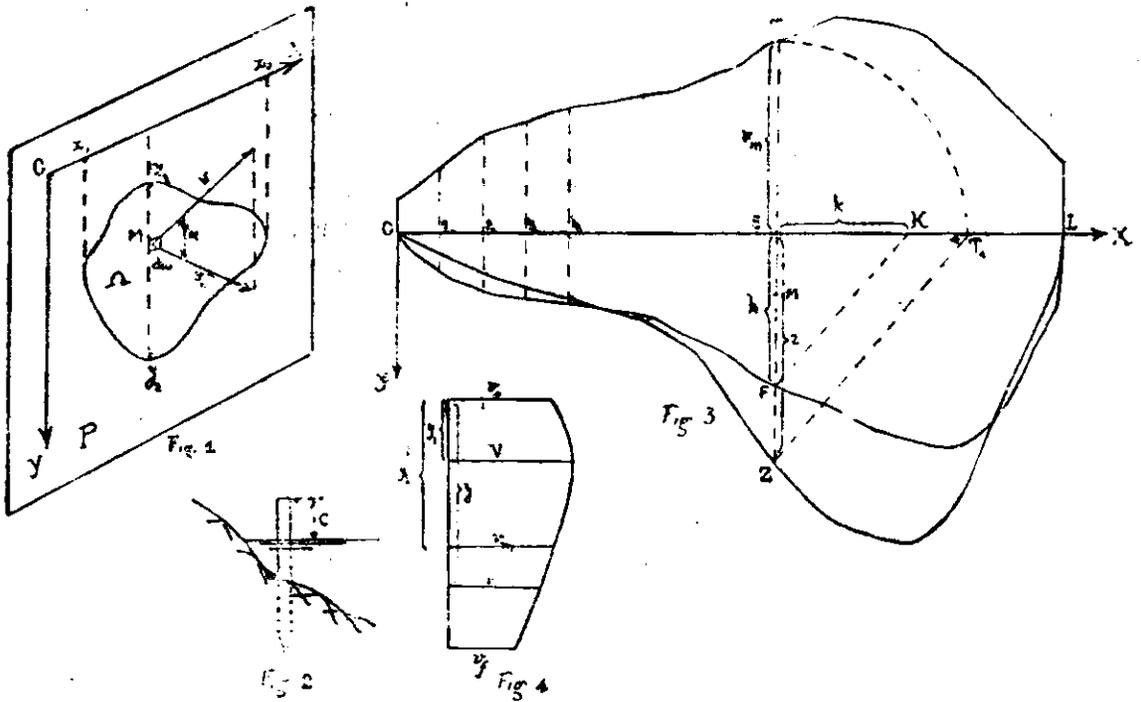
Un industrial puede observar por ejemplo el río Maipo en un mes de Diciembre. Su caudal pasa de 100 m /seg. y sobre esta base puede instalar una central productora de energía. En Marzo tendría que paralizar la tercera parte de sus maquinarias, en Abril la mitad, en Julio las dos terceras partes, y si proyectó sus obras de rebalse con aquel único dato del mes de Diciembre, las avenidas de Junio o de Julio pueden arrasarse con sus obras hidráulicas.

Este ejemplo nos demuestra la necesidad que hay de contar como base con el conocimiento exacto de las condiciones en que la naturaleza nos libra sus riquezas. Es necesario medir; medir, que es la primera condición para que un conocimiento cualquiera—sobre todo los que se relacionan con la ingeniería—merezca el nombre de tal.

La utilización de las aguas debe mirarse también desde otro punto de vista: el que se refiere a la legislación a que su aprovechamiento debe sujetarse con el objeto de evitar perjuicios, amparar derechos y fomentar esfuerzos. Las disposiciones de la ley deben tener evidentemente por base la medida del agua, y así lo establecen los dos proyectos de ley que sobre la materia han presentado al Honorable Senado los senadores señores Carlos Aldunate y Luis Claro. Ambos proyectos, en sus Títulos III estatuyen el aforo de los ríos con el objeto de determinar su caudal normal utilizable, que será, según esos proyectos, la base legal de la concesión del agua.

Me ha parecido por este motivo de interés dar a conocer en el Instituto de Ingenieros los métodos de medidas que la Dirección de Obras Públicas emplea actualmente en el aforo de nuestros ríos en la Sección que con este objeto existe en la Inspección de Hidráulica de esa oficina.

Se llama gasto o caudal de una corriente de agua en una sección dada y en un instante dado, el volumen de agua que pasa por esa sección en la unidad de tiempo, o sea en un segundo.



Supongamos, en el instante considerado, (fig. 1), que cortemos la corriente líquida por un plano P y sea Ω la sección. Sea M un punto de la sección y consideremos en este punto un elemento infinitamente pequeño dw de superficie. Las moléculas líquidas que pasan por dw tendrán una velocidad v que en el caso general será oblicua respecto del plano P . Se puede aceptar sin error, gracias a que dw es infinitamente pequeño, que todas las moléculas que atraviesan a dw tienen la misma velocidad v tanto en magnitud como en dirección. Además, se puede considerar también sin error, que durante el tiempo infinitamente pequeño dt la velocidad v queda constante en magnitud y dirección, de modo que el volumen dC de agua que atraviesa la sección dw durante el tiempo dt es el volumen de un cilindro oblicuo de base dw y cuya arista lateral vale $v dt$. Llamando α el ángulo que la velocidad v forma con la normal al plano en el punto M , se tendrá

$$dC = dw v dt \cos \alpha$$

Pero $v \cos \alpha$ no es otra cosa que la componente normal v_n de la velocidad. Por lo tanto

$$dC = dw v_n dt$$

y el gasto infinitamente pequeño dQ que pasa por la sección dw será

$$dQ = \frac{dC}{dt} = dw v_n$$

y el gasto total

$$Q = \int_{\Omega} v_n dw \dots \dots \dots (1)$$

Para resolver esta integral, elijamos en el plano P dos ejes coordenados OX y OY , y llamemos x, y las coordenadas del punto M . Tendríamos entonces

$$dw = dx dy \quad \text{y por consiguiente}$$

$$Q = \iint v_n dx dy$$

En general v_n dependerá de la posición del punto:

$$v_n = f(x, y) \quad \text{y por lo tanto}$$

$$\begin{aligned} Q &= \iint f(x, y) dx dy \\ &= \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{y_1}^{y_2} f(x, y) dy \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Se ve que para determinar el gasto sería necesario conocer:

1.º La ley $v_n = f(x, y)$ de repartición de las velocidades en la sección, y 2.º la forma de esta sección.

En el caso general de las corrientes naturales (ríos), no se conoce sino imperfectamente la ley de repartición de las velocidades, y por otro lado, se comprende que el contorno de la sección no será nunca una curva que admita una ecuación, por lo cual la solución analítica del problema es imposible. Pero conviene llegar á la fórmula (2) para guiarse en la determinación experimental o aforo del gasto de las corrientes.

Esta determinación se hará, como se comprende, midiendo la componente normal v_n de la velocidad en un número de puntos M tanto mayor cuanto mayor es la precisión con que se desea conocer Q .

En la fórmula (1) entra la componente normal v_n de la velocidad cualquiera instantánea v . Se comprende desde luego que no se puede materialmente medir una serie de velocidades instantáneas cuyo valor en rigor no es constante sino durante un espacio de tiempo infinitamente pequeño. Es por esto que los aforos o mediciones de los gastos se hacen en el supuesto que el movimiento del agua durante el aforo es permanente, o sea que en un punto cualquiera M de la sección de aforo, las moléculas pasan con la misma velocidad v , de magnitud y dirección invariables con el tiempo.

¿Por qué causas puede el movimiento del agua dejar de ser permanente durante la operación material del aforo? Hay dos: primero por variación de la sección Ω , y segundo, por variación del caudal Q .

Se comprende que durante el tiempo limitado de un aforo la sección Ω no variará considerablemente. Habrá variación debida a los arrastres del río, que modifican momento a momento el perfil del fondo. La importancia relativa de este factor puede decirse que durante la operación del aforo no es considerable. Desde luego, los arrastres se producen con velocidades elevadas. En tal caso son de consideración sólo cuando los caudales y las profundidades son considerables, y entonces el error, repartido sobre un valor elevado del gasto dará una proporción baja.

Muy distinta y grave importancia tiene la variabilidad de la sección cuando no se trata de un aforo aislado, sino de aforos que se deben relacionar unos con otros a fechas distantes, al estudiar el regimen de un río.

En cuanto al segundo factor que hace que el movimiento no sea permanente, la variación del caudal, no se puede como se comprende evitar sino procediendo rápidamente y comprobando en todo caso esta variación. Supuesta la sección invariable, la variación de caudal se reconocerá generalmente por la variación del nivel de la superficie libre, para lo cual basta colocar a la orilla del agua una estaca y medir en ella de rato en rato, durante el aforo, la altura C indicada en la figura 2. Cuando en la sección de aforo se ha colocado un limnómetro, se anotarán las variaciones del nivel del agua haciendo lecturas periódicas sobre la escala graduada de éste, y si se quiere mayor proligidad, se puede establecer todavía un aparato inscriptor de las variaciones del nivel del agua (limnógrafo), tal como aparece en la figura 24. Se ve allí instalado junto al limnómetro, un pequeño limnógrafo portátil que puede inscribir variaciones hasta de 0.50 m. en el nivel, y cuyo cilindro inscriptor da una revolución en 24 horas. El examen de la curva del limnógrafo en la parte correspondiente al tiempo del aforo dará idea de las condiciones de constancia en las cuales se ha hecho aquella operación. (*)

Para darse cuenta, por medio de la simple variación del nivel del agua, de las variaciones de caudal, precisa que la sección llene todavía otras condiciones. Se observa en efecto algunas veces que a variaciones considerables de caudal corresponde una variación de nivel relativamente pequeña. Desde luego se ocurre

(*) La variación de caudal durante el tiempo que dura el aforo es considerable cuando se trata de secciones de ríos situadas en la cordillera, cuyo gasto proveniente del derretimiento de las nieves varía enormemente con la hora del día, sobre todo cuando hay sol. Puedo dar a este respecto el ejemplo siguiente. En el río Juncal (hoya del Aconcagua), en el punto denominado Río Blanco (1420 m. sobre el nivel del mar) el caudal aforado entre 9 y 11 de la mañana de un día del mes de febrero de 1914 alcanzó a 11 m³/seg. En la tarde, entre 5 y 6, el caudal había subido a 18,5 m³/seg. La variación de nivel alcanzó a 0,12 m., y durante el aforo, no obstante su corta duración, fué ya sensible (1 a 2 cms. más o menos). Puede considerarse el aforo de la mañana como el caudal mínimo de ese día; el caudal observado en la tarde, que no es el máximo, alcanzó como se vé, a un 168 % del caudal mínimo. Este caso no es excepcional. El ingeniero señor G. van M. Broekman indica para el río Yaso (hoya del Maipo) variaciones diurnas que dan un caudal máximo igual al 200 % del caudal mínimo en el mismo día.

que influye la pendiente y la relación entre el ancho y la profundidad de la sección transversal. Influyen otros factores más todavía, como ser estrechamientos de la sección, vecindad de rápidos o caídas, y puede así ocurrir que el nivel del agua quede constante para la observación con caudales sumamente distintos.

La sección de aforo debe situarse por este motivo en lo posible en un trozo de la corriente que tenga pendiente suave, que sea rectilíneo y que presente, en un trecho más o menos largo hacia aguas arriba y aguas abajo de la sección, secciones más o menos iguales. En una palabra, conviene que en ese trecho, el movimiento, a más de permanente, sea uniforme. En tal caso las moléculas líquidas deben recorrer trayectorias rectilíneas y paralelas; es lógico entonces elegir como plano P un plano vertical, que, dada la poca pendiente de las trayectorias, podrá considerarse como normal a ellas.

La sección de aforo es entonces una sección transversal de la corriente y prácticamente la componente normal de la velocidad de cada molécula es igual a la velocidad misma.

Aún cuando se llenen con proligidad estas condiciones, se observa que por un punto M de la sección transversal, las moléculas que pasan no tienen una velocidad v constante en magnitud y dirección, pero se comprueba también que sus variaciones oscilan al rededor de un valor que constituye la velocidad media local en el punto M . La fórmula fundamental (1) queda por lo tanto exacta con la interpretación de ser en ella v_n la velocidad normal media local en el punto cualquiera M de la sección.

Elegida, en conformidad a las consideraciones anteriores la sección de aforo, tendremos entonces que la sección de la corriente por el plano P es una sección transversal que presentará como superficie libre una línea horizontal OL (fig. 3). Elijamos entonces como eje de las x esta traza de la superficie libre sobre el plano, y como eje de las y (eje de las profundidades) la normal en el extremo O . Sea M el punto cualquiera de coordenadas x, y , y sea v la velocidad normal en ese punto.

La fórmula (2) del gasto se escribirá entonces

$$Q = \int_0^a dx \int_0^h v dy$$

siendo a el ancho OL de la corriente y h la profundidad variable.

Pero en esta fórmula se observa que

$$\int_0^h v dy = v_m h$$

siendo v_m la velocidad media de la vertical arbitraria SF . Reemplazando resulta

$$Q = \int_0^a h v_m dx \dots\dots (3)$$

Para efectuar analíticamente esta integral tendríamos que conocer tanto la variación de h con x (forma del lecho) como la variación de v_m con x (variación de la velocidad media en una línea horizontal transversal de la corriente). La primera función no existirá; la segunda se conoce muy imperfectamente.

Se procede por esto por puntos, determinando experimentalmente por una serie de verticales 1, 2, 3, 4, la velocidad media y construyendo con esos valores la curva OTL de las velocidades medias.

Ahora, hagamos el abatimiento de la velocidad media $v_m = ST$ en ST_1 , tomemos un trazo constante $SK = K$; unamos K con F y tracemos T_1Z paralela a KF . Obtenemos así el punto Z y llamemos $z = SZ$ su ordenada.

A cada punto T de la curva de las velocidades medias corresponde así un punto Z y todos los puntos Z así determinados formarán a su vez una curva OZL . Ahora, en los triángulos semejantes se tiene:

$$v_m : z = K : h$$

de donde

$$h v_m = Kz$$

y reemplazando en la fórmula (3) resulta

$$Q = \int_0^a K z dx = K \int_0^a z dx$$

$$Q = K \text{ sup. } OZL \dots\dots (4)$$

Por lo tanto la superficie OZL representa a una cierta escala el gasto que pasa por la sección OFL .

El aforo consistirá entonces en dos operaciones en el terreno:

1.º Medida de la sección OFL .

2.º Medida de una serie de velocidades medias para obtener la curva OTL .

La 3.ª operación, el cálculo del aforo consistirá en la construcción de la curva OZL y su medida por medio del planímetro u otro procedimiento.

No habrá dificultad para determinar la escala a que resulta medido el gasto. La superficie OZL , medida por ejemplo en centímetros cuadrados y multiplicada por el valor de K en centímetros dará el gasto en centímetros cúbicos a una escala que es el producto de las tres escalas: escala horizontal (eje de las x), escala vertical o de profundidades (eje de las y) y escala de las velocidades.

MEDIDA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

El levantamiento de la sección transversal es una operación topográfica sencilla.

Las medidas horizontales se harán con huincha, fijando la posición 0, 1, 2, 3. de las ordenadas por medio de marcas hechas en el puente desde el cual se opera. Si el aforo se hace desde un andarivel (fig. 30) o en botes de aforo (fig. 31) es necesario tender un cable transversalmente a la corriente y fijar en él, por medio de señales, la posición de las ordenadas. Es muy práctico para estos casos usar un cable de acero flexible de 4 mms. de diámetro, graduado en metros por medio de enrollamientos de alambre de cobre o bronce y fichas de plomo con cifras estampadas. (Fig. 8).

En cuanto a las medidas verticales (profundidades) cuando las profundidades no son muy grandes se puede usar la mira y el nivel topográfico. Como una mira común presentaría el inconveniente de la excesiva resistencia que podría oponer a la corriente y del deterioro de la madera y de la graduación por efecto del agua, se usa generalmente la mira llamada de Epper.

Esta mira (fig. 5) lleva una varilla de acero corrediza que alarga la mira de cantidades fijas (0,50 m., 1,00 m., etc.) de modo que el cero de la graduación de la mira puede quedar siempre fuera del agua y a una altura conocida sobre el pié de la varilla de acero que es la que se introduce en el agua. La mira lleva todavía un nivel esférico para asegurar su colocación vertical.

Una precisión menor en la medida de las profundidades se obtiene usando la varilla de sondaje (fig. 6), que es un tubo hueco de acero, graduado en decímetros, con un pié inferior y una esfera hueca superior. El tubo está lastrado de modo que flota en posición vertical.

Cuando las profundidades son grandes (superiores a cuatro metros por ejemplo) el uso de la mira o de la varilla de sondaje es imposible. Es necesario usar entonces un cable provisto de un lastre de plomo (escandallo), practicar por lo tanto un verdadero sondaje. Como plano de comparación en estos casos puede tomarse un elemento horizontal del puente desde el cual se opera, o bien la superficie del agua, cuya traza sobre el plano de la sección transversal debe ser (para el movimiento uniforme) una línea horizontal.

Tanto en este caso como cuando se usa la varilla de sondaje existe la indecisión sobre el punto de intersección de la superficie del agua con la varilla o cable, motivada por el salto del agua que choca, con el obstáculo opuesto en su camino.

Por último, muchas veces la operación del levantamiento del perfil transversal se puede hacer al mismo tiempo que la medición de las velocidades, como se verá más adelante.

Pero tanto la mira como la varilla de sondaje y el escandallo no pueden usarse si las velocidades son fuertes (superiores a 2,00 mts. sobre 2 mts. de profun-

didad, o 1,50 mts. sobre 4 mts. de profundidad, por ejemplo). En tales casos (aforos de creces) el aforo no es posible sino en forma aproximada, aceptándose entonces como perfil transversal un perfil levantado anteriormente con aguas más bajas, y que se supone invariable.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA EN UNA VERTICAL

Esta determinación se puede hacer midiendo en la ordenada que se considera una serie de velocidades a diversas profundidades. Se obtiene así una curva (fig. 4) de la cual, por medio del planímetro se puede deducir la velocidad media v_m .

Cuando la sección de aforo es bastante regular, se puede aceptar para esta curva de las velocidades en una vertical la ley parabólica que se acepta para el escurrimiento del agua en los canales, lo que permite emplear procedimientos aproximados para la determinación de v_m .

Llamando y una profundidad cualquiera, la velocidad v está relacionada con y por la fórmula

$$v = V - K (y - y_1)^2 \dots \dots \dots (5)$$

en que V es la velocidad máxima en la vertical, y_1 la profundidad en que se verifica esta velocidad máxima i K un coeficiente o parámetro constante para cada vertical, pero variable de una ordenada a otra.

La velocidad media v_m tendrá por expresión

$$v_m = \frac{1}{h} \int_0^h v \, dy$$

y efectuando esta integral se llega a la fórmula

$$v_m = V - \frac{K}{3h} \left[(h - y_1)^3 + y_1^3 \right] \dots \dots \dots (6)$$

Es evidente que hay una velocidad efectiva que debe ser igual a esta velocidad media. Llamemos y_2 la profundidad en que se verifica esta velocidad que es igual a v_m . Tendremos, aplicando la ecuación (5)

$$v_m = V - K (y_2 - y_1)^2$$

e igualando con (6)

$$(y_2 - y_1)^2 = \frac{1}{3h} \left[(h - y_1)^3 + y_1^3 \right]$$

Dividiendo ámbos miembros por h^2 se tiene

$$\left[\frac{y_2}{h} - \frac{y_1}{h} \right]^2 = \frac{1}{3} \left[\left(1 - \frac{y_1}{h} \right)^3 + \left(\frac{y_1}{h} \right)^3 \right]$$

En esta forma se ve que $\frac{y_1}{h}$ es la profundidad relativa de la velocidad máxima, e $\frac{y_2}{h}$ es la profundidad relativa de la velocidad media.

Llamemos entonces $\frac{y_2}{h} = \gamma$

$$\frac{y_1}{h} = \alpha$$

Tendremos $(\gamma - \alpha)^2 = \frac{1}{3} [(1 - \alpha)^3 + \alpha^3]$

y poniendo finalmente $1 - \alpha = \beta$

tendremos
$$\gamma = \alpha + \sqrt{\frac{1}{3} (\alpha^3 + \beta^3)} \dots \dots \dots (7)$$

fórmula que nos dá la profundidad relativa γ de la velocidad media cuando se conoce la profundidad relativa α de la velocidad máxima.

De esta fórmula se puede construir la tabla siguiente:

α	<0,00	0,00	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,50
γ	lim=0,50	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,65	0,67	0,79

Se ve entonces que la velocidad media está siempre más abajo de la profundidad media, y que llega a los 2/3 cuando la velocidad máxima está a 1/3 de la profundidad total.

Por lo demás, se ha observado que la velocidad máxima para profundidades medias oscila entre la superficie y el tercio de la altura. Entre estos límites la tabla muestra que la posición de la velocidad media varía poco (de 0,58 a 0,67) de modo que un término medio de 0,60 o sea de 3/5 se apartará poco de la realidad. El valor $\alpha=0,50$ corresponde a grandes profundidades.

Se puede relacionar también la velocidad superficial v_s con la velocidad media v_m . Se llega a la fórmula

$$v_m = v_s - K h^2 \left[\frac{1}{3} (\alpha^3 + \beta^3) - 2 \right] \dots (8)$$

Haciendo aquí $\alpha = \frac{1}{3}$ se encuentra

$$v_m = v_s$$

Luego, cuando la velocidad máxima está al tercio de la profundidad, la velocidad superficial es igual a la velocidad media.

Haciendo
$$a = \frac{1}{3} + \xi$$

se encuentra

$$v_m = v_s + K h^2 \xi$$

fórmula que muestra que si $\xi > 0$ o sea si $a > \frac{1}{3}$ es $v_m > v_s$. y si $\xi < 0$ o sea si $a < \frac{1}{3}$ es $v_m < v_s$.

Este segundo caso es el más común, de modo que se puede deducir la velocidad media de la velocidad superficial, multiplicando esta última por un coeficiente menor que 1. La experiencia demuestra que este coeficiente varía entre 0,85 y 0,95.

Se puede demostrar también que la suma de dos velocidades simétricas (o sea una cuya distancia a la superficie es igual a la distancia de la otra al fondo) difiere poco del doble de la velocidad media, y que este error es nulo cuando se toman las velocidades cuyas profundidades son 0,2114 y 0,7886 o sea prácticamente 0,20 y 0,80.

De esta teoría se deducirían, por lo tanto, tres procedimientos para determinar la velocidad media.

1.º Midiendo tres velocidades a tres profundidades distintas. Como tres puntos fijan la parábola de eje horizontal, quedaría la curva de la velocidad analíticamente determinada. Se podría entonces calcular el parámetro K , la posición a y el valor V de la velocidad máxima, y por lo tanto, la posición γ y el valor v_m de la velocidad media.

2.º Midiendo la velocidad a la profundidad 0,60 aproximadamente. Tal velocidad se puede considerar igual a la velocidad media.

3.º Midiendo la velocidad superficial.

Pero se comprende que estos procedimientos no son exactos sino teóricamente. Por esto, es preferible determinar la curva vertical de las velocidades por medio de un gran número de puntos que corresponden a otras tantas velocidades medidas (véase el gráfico de figs. 33 i 34) o bien efectuar la integración de la superficie de las velocidades por un método mecánico. Son los dos procedimientos puestos en uso en la Inspección de Hidráulica para aforos definitivos.

No son aplicables estos métodos para las creces, caso en que no se pueden medir velocidades a profundidad, so pena de destruir los instrumentos.

En este caso hay que limitarse a medir velocidades superficiales únicamente i aceptar coeficientes de reducción, que pueden deducirse de aforos practicados en la misma sección.

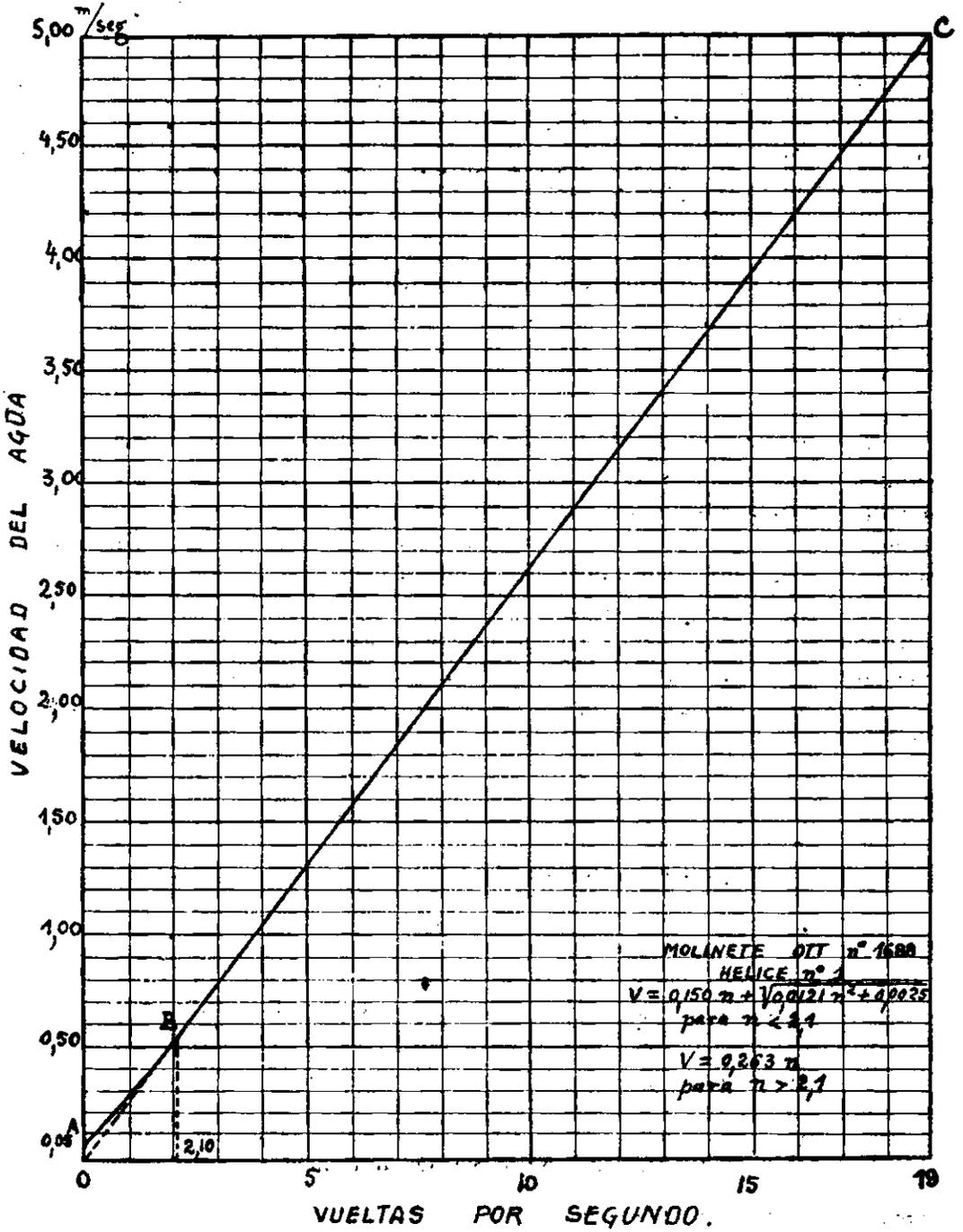


Fig. 7.

MEDIDA DE LAS VELOCIDADES

El aparato generalmente usado hoy día para efectuar medidas de velocidad es el molinete de Woltmann. Los tipos difieren según el constructor y el sistema ideado para fijar el molinete en el punto en el cual se desea medir la velocidad.

El molinete Woltmann consiste esencialmente en una hélice cuyas paletas presentan superficies inclinadas a la dirección de la velocidad del agua, de modo que introducida la hélice en el agua en movimiento, éste la hace girar alrededor de su eje. En estas condiciones, hay una relación entre la velocidad del agua y el número n de revoluciones por segundo que ejecuta la hélice

$$v = f(n)$$

La determinación de esta función se hace experimentalmente i constituye el taraje previo de la hélice. Ahora bien, como las paletas de la hélice se pueden considerar aproximadamente como trozos de la superficie de la hélice de un tornillo, se puede prever que la función f será una función lineal. Es lo que demuestra la experiencia; pero como intervienen también como fuerzas actuantes sobre la hélice no sólo el empuje del agua sino también los frotamientos del eje de la hélice sobre los apoyos y las resistencias del mecanismo contador de vueltas, la función se complica para los valores pequeños de la velocidad.

El taraje o verificación de las hélices conduce por esto a dos fórmulas: una parabólica

$$v = an + \sqrt{\beta n^2 + \delta} \quad (a)$$

válida para las pequeñas velocidades y otra lineal

$$v = a'n \quad (b)$$

válida para las velocidades mayores. Para un cierto valor de la velocidad ambas fórmulas coinciden; bajo ese valor se usará la fórmula (a); sobre ese valor la (b).

Gráficamente las dos fórmulas quedan representadas (fig. 7) por un arco de parábola AB la primera y por la recta BC la segunda. (*)

(*) En la práctica, como veremos más adelante, se determina no este número n de vueltas por segundo sino el tiempo t correspondiente a un número N (generalmente 25) de vueltas. Las fórmulas (a) y (b) se deben transformar entonces reemplazando n por su valor $\frac{N}{t}$. Por ejemplo, para la hélice N.º 1 del molinete Ott n.º 1688, cuya curva está dibujada en la fig. 7, las fórmulas

$$v = 0,150 n + \sqrt{0,0121 n^2 + 0,0025} \dots\dots\dots (a)$$

Hay diferentes tipos de hélices, diferenciándose desde luego las de eje horizontal (molinetes Ott) y las de eje vertical (molinetes Price).

Entre las hélices de eje horizontal las hay de dos y tres paletas y se pueden dividir en hélices con rayos (figs. 10, 14, 17) hélices rectas (figs. 9 y 11) y hélices curvas (fig. 12).

$$v = 0,263 n \dots\dots\dots (b)$$

se transformarán, haciendo $n = \frac{25}{t}$ en estas otras

$$v = \frac{3,750}{t} + \sqrt{\frac{7,5625}{t^2} + 0,0025} \dots\dots\dots (a')$$

$$v = \frac{6,575}{t} \dots\dots\dots (b')$$

en que t es el tiempo correspondiente a 25 vueltas de la hélice. La fórmula (a') se usará para los valores de t mayores que 11,9 y la (b') para valores de t inferiores a ese valor. Las fórmulas (a') y (b') se usan más generalmente que las (a) y (b), y ello en forma de tablas, como la que va a continuación, correspondiente precisamente a la misma hélice n.º 1 del molinete 1688.

CUADRO DE VELOCIDADES POR SEGUNDO CORRESPONDIENTES AL TIEMPO DE CADA 25 VUELTAS DEL MOLINETE NÚMERO 1688. HÉLICE NÚMERO 1

TIEMPO (segundos)	VELOCIDAD (metros)	TIEMPO (segundos)	VELOCIDAD (metros)	TIEMPO (segundos)	VELOCIDAD (metros)
250, —	0,065	13,88	0,474	5,21	1,262
125,—	0,085	13,16	0,500	4,81	1,365
83,30	0,105	12,50	0,528	4,47	1,472
62,50	0,127	11,90	0,552	4,17	1,578
50,00	0,148	11,36	0,579	3,85	1,710
41,70	0,172	10,86	0,603	3,57	1,841
35,70	0,197	10,41	0,631	3,33	1,972
31,40	0,221	10,00	0,658	3,13	2,102
27,80	0,246	9,62	0,684	2,94	2,235
25,80	0,271	8,93	0,737	2,78	2,366
23,70	0,295	8,33	0,739	2,63	2,500
20,80	0,320	7,81	0,832	2,50	2,630
19,20	0,348	7,36	0,894	.....	.....
17,85	0,372	6,95	0,947	.....	.....
16,65	0,397	6,58	1,000	.....	.....
15,60	0,423	6,25	1,051	.....	.....
14,70	0,449	5,68	1,156	.....	.....

Los molinetes Price vienen con tablas análogas deducidas del taraje de las hélices, sin indicar fórmula analítica.

En los molinetes Price de eje vertical, las paletas están reemplazadas por capachos cónicos (figs. 20 y 22).

Como se ha dicho, estas hélices, introducidas en el agua en movimiento giran alrededor de su eje, y es menester poder contar el número de vueltas correspondiente a un tiempo dado para deducir la velocidad. Para esto, el eje de la hélice (fig. 9) lleva un tornillo sin fin *A*, que hace girar una rueda dentada, la cual forma parte de un mecanismo contador de vueltas.

En los primitivos molinetes este contador era mecánico (figs. 9 y 10). Para hacer una medida, era necesario entónces anotar la lectura inicial del contador, introducir el molinete en el agua, poner en un instante dado el contador en contacto con el tornillo sin fin de la hélice por medio de la cuerda *T* desconectar el contador al cabo de un tiempo (por un segundo movimiento de la misma cuerda) y sacar el molinete para hacer la lectura final. Dividiendo la diferencia entre las dos lecturas por el tiempo transcurrido en segundos, se obtenía el valor de *n* que era necesario introducir en la fórmula de la hélice para obtener la velocidad. Se comprende que cuando hay que hacer gran número de medidas, este procedimiento de sacar cada vez el molinete del agua es sumamente lento. Por eso hoy día se usan los contadores eléctricos: el eje de la hélice del molinete lleva un saliente que a cada vuelta hace contacto en una pieza metálica cerrando así un circuito eléctrico en el cual hay intercalados una pila y un contador de vueltas electromagnético, cuyo puntero avanza una división a cada cierre del circuito.

Otro procedimiento más sencillo se obtiene colocando el contacto, nó en el eje de la hélice sino en la rueda dentada que engrana con el tornillo sin fin de que se ha hablado (figs. 11, 13, etc.). De esta manera el cierre del circuito se puede hacer cada 25, 50 o 100 vueltas de la hélice (según sea el número de dientes de esa rueda y el número de contactos que lleve). En este caso, en vez del contador magneto-eléctrico se intercala en el circuito una campanilla o un fono que sonará cada 25, 50 o 100 vueltas de la hélice. Basta medir con un cronómetro el tiempo transcurrido entre dos señales de la campanilla o del fono para tener los elementos que proporcionan el valor de *n*. Generalmente los molinetes Ott llevan los dos dispositivos: dan un contacto de vuelta en vuelta y otro contacto cada 25 vueltas. El molinete Price tiene también los dos dispositivos, pero para usar uno u otro se debe cambiar el mecanismo.

El contacto de vuelta en vuelta es indispensable para la integración mecánica de las velocidades en una vertical.

La parte débil de estos mecanismos está en que funcionando ellos dentro del agua están expuestos a obstrucciones debidas a las arenillas y lamas que arrastra generalmente el agua de las corrientes.

En la parte mecánica, este inconveniente se toma en cuenta por medio de dispositivos especiales en los apoyos del eje de la hélice que por otra parte se trata de que sean lo más suaves posible, (descansos de ágata, puntas de acero, bolitas de níquel, etc.) y encerrando en lo posible el mecanismo contador de vueltas.

Sin embargo hay quienes prefieren que este mecanismo quede por el contrario bien expuesto a la corriente del agua a fin de que ésta misma se encargue de arrastrar las arenas e hilachas que se hayan adherido al mecanismo (comparar figs. 11 y 12).

Cuando el mecanismo contador es eléctrico, la acción del agua se manifiesta todavía de otra manera, sobre todo cuando se trata de agua salada o que contiene sustancias químicas disueltas en proporción apreciable. En tal caso el agua deja de ser un aislador y el circuito no se interrumpe del todo cuando cesa el contacto de las piezas metálicas del mecanismo. El contador electro-magnético es de uso imposible cuando esto ocurre, y aún cuando la campanilla puede todavía usarse, los resultados no son seguros. Por lo demás, la batería de pilas se gasta con rapidéz (*) y la pieza que sirve de contacto positivo en el instrumento se oxida con el oxígeno desprendido por la electrolisis del agua. A este respecto, el fono es el receptor más adecuado, por cuanto, debido a su extrema sensibilidad, acusa siempre la diferencia entre el contacto metálico y el contacto a través del agua, y esto, aún cuando el circuito tenga otros defectos, como ser aislamiento imperfecto por deterioro de los cables y pilas gastadas por el uso.

Estos inconvenientes derivados de la conductividad del agua que contiene sales en disolución, se salva haciendo que el contacto eléctrico se verifique al abrigo del agua. Tal es el contacto en aceite del molinete indicado en la fig. 13 y el contacto en cámara hermética (patente Mensing-Ott o molinete magnético ilustrado en la fig. 15).

En el primer tipo, el contacto eléctrico se hace dentro de una cámara que contiene aceite aislador. La trasmisión del contacto se hace por medio de un eje que penetra a la cámara de aceite, de modo que esta cámara no es hermética, pero la viscosidad del aceite impide prácticamente que éste se vacie por la abertura por donde penetra ese eje.

El segundo tipo es la solución absoluta. La cámara en que se verifican los contactos eléctricos es hermética. El movimiento de la hélice se trasmite al interior de esta cámara por un medio magnético. Para esto el eje de la hélice lleva en su extremo un imán en forma de campana que a través de la pared de la cámara arrastra en su movimiento un ancla contenida en esa cámara. Este ancla sigue al imán en su movimiento y da tantas vueltas como aquel y por consiguiente como la hélice. Dentro de la cámara y por lo tanto al abrigo absoluto del agua, está montado el mecanismo eléctrico contador de las vueltas del ancla.

FIJACIÓN DEL MOLINETE EN LA VERTICAL

Hemos dicho que prácticamente se determina la velocidad media en una vertical de la sección transversal midiendo en esa vertical una serie de Velocida-

(*) A este respecto se recomienda usar siempre un voltaje bajo (1,2 volts). Las pilas no se deben colocar entonces en serie sino en paralelo.

des a profundidades diferentes. Es necesario poder fijar entonces el molinete en esos puntos.

Desde este punto de vista, los molinetes pueden clasificarse en tres tipos:

A) Molinetes de varilla fija.

B) Molinetes de varilla móvil.

C) Molinetes suspendidos.

Molinetes de varilla fija.—En estos molinetes (figs. 16 y 17), una varilla de acero se coloca según la vertical de que se trata, apoyándose en el fondo del lecho por medio de un plato o araña que impide que la varilla penetre en el suelo. El molinete puede moverse a lo largo de la varilla y fijarse en cualquier punto de ella, para lo cual cuelga de un cable que contiene los conductores del circuito de contacto, el cual cable da vuelta por una polea colocada en el extremo de la varilla y viene a fijarse en el brazo transversal d (fig. 16) que sirve para sostener y mantener la varilla en posición.

La sección transversal de la varilla es un círculo con un pequeño saliente rectangular que sirve de guía a fin de poder dirigir el molinete e impedir que gire alrededor de la varilla.

Esta varilla, por otra parte, está graduada y desempeña entonces el papel de la varilla de sondaje y permite levantar el perfil transversal de la corriente, simultáneamente. En cuanto a la posición del molinete en la varilla, se controla por medio del brazo transversal d bajando el cual de una cantidad dada se hace que suba de la misma cantidad el molinete, y *visi-versa*. Cuando se opera comenzando en cada vertical de arriba hacia abajo, es necesario conocer cuándo el molinete ha llegado al fondo.

Para esto, los molinetes llevan un «contacto de fondo». Es un tornillo (fig. 17) que el molinete oprime por su propio peso contra el plato inferior de la varilla cerrando entonces un circuito especial que debe estar provisto de su pila y su campanilla.

El molinete desciende a lo largo de la varilla por su propio peso. El ajuste entre el cuerpo del molinete y la varilla debe permitir este movimiento, para lo cual debe quedar un cierto juego entre la sección hueca del cuerpo y la sección de la varilla. Pero cuando las aguas son turbias y la fuerte velocidad arrastra el cable de suspensión y apoya el molinete con fuerza contra la varilla, el descenso se dificulta y hasta imposibilita del todo. Por eso, para nuestros ríos, se ha debido reemplazar el simple resbalamiento del molinete a lo largo de la varilla por el rodado por medio de ruedas, sirviendo en este caso la varilla con su guía longitudinal de verdadero riel a un pequeño carro que constituye el cuerpo del molinete. (Fig. 25).

Especialmente útil ha sido esta modificación cuando se ha querido medir la velocidad media por medio de la integración mecánica de las velocidades en la vertical. Para esto se desciende el molinete con velocidad uniforme a lo largo de la varilla, y se cuenta el número de vueltas que dá la hélice desde que se hunde

bajo la superficie hasta que llega al fondo y el tiempo correspondiente en segundos. Dividiendo ambos números se obtiene un valor de π que corresponde a la velocidad media en la vertical recorrida por el molinete. Es condición esencial naturalmente que el movimiento de bajada del molinete sea uniforme. Para estos casos (fig. 17) el extremo del cable de suspensión del molinete se enrolla en un tambor que impulsado por el esfuerzo constante de tracción del cable (debido al peso del molinete) da vueltas lentamente, sin acelerar su movimiento gracias a un regulador de Foucault de que está provisto. Por lo demás un puntero se mueve con el tambor indicando sobre una graduación las cantidades de que desciende el molinete. Este procedimiento es especialmente adecuado para corrientes tranquilas y aguas limpias y da muy buenos resultados cuando se reemplaza el cuerpo del molinete por el carro a que me he referido.

Molinete de varilla móvil.—En este tipo, el molinete va fijo invariablemente al extremo de la varilla y es esta varilla la que se mueve verticalmente deslizando en un soporte y fijándose en la posición deseada por medio de una palanca (fig. 18). En el tipo de la figura 19 el movimiento de la varilla se efectúa por medio de un torno.

La varilla es graduada, de modo que se conoce perfectamente la posición del molinete, para lo cual basta leer la varilla en algún punto fijo del soporte. Todavía, siendo la varilla graduada, constituye una mira parlante sobre la cual se puede leer con un nivel topográfico instalado en la orilla. Así queda determinada cada vez la posición del molinete y cuando éste llega al fondo, queda de hecho tomada la cota para el perfil de la sección transversal.

En cuanto a resistencia, la varilla, que trabaja como pieza empotrada en un extremo (el soporte) y libre en el otro, está más desfavorablemente solicitada que en el caso de la varilla fija que queda apoyada en sus dos extremos. Por este motivo se le da una sección más resistente, lenticular u ovoide, con su eje mayor dirigido en el sentido de la corriente. Todavía se puede obviar este inconveniente de la sollicitación desfavorable tomando el extremo libre de la varilla por medio de cables contravientos.

La varilla es hueca, y como en este caso el cable conductor no tiene movimiento propio, se le lleva por el interior de la varilla.

Molinete suspendido.—En los molinetes de varilla fija no es práctico pasar de los 6 mts. para el largo de la varilla, y en los de varilla móvil, de los 3 mts. Si la profundidad de la corriente es mayor o más propiamente la altura del puente en que se opera sobre el fondo sobrepasa esos límites se usa el molinete suspendido. En este molinete, está suprimida la varilla y reemplazada por un cable del cual cuelga el molinete.

El tipo más práctico de molinete suspendido es el molinete Price indicado en la fig. 20.—Este molinete es de eje vertical, como se ha dicho más atrás, y tiene reemplazada la hélice de paletas por una corona de capachos cónicos. Se consigue que el molinete descienda en la vertical considerada por medio de los las-

tres de plomo D , que pueden ser uno, dos o tres según lo requiera la velocidad del agua, para reducir al minimum la deriva del molinete. Para conocer las cantidades de que desciende el molinete, el cable de suspensión debe ser graduado.

Ott ha ideado también un dispositivo para aprovechar sus molinetes como suspendidos. Esta disposición se ve en la fig. 23. Consiste en la prolongación del cuerpo de un molinete magnético por medio de una pieza maciza cilíndrica que lleva en su extremo un cilindro hueco de mayor diámetro, que sirve para lastrar el aparato, y un timón de cuatro aletas. Para pequeñas velocidades, basta el peso propio del aparato para que descienda verticalmente; pero para fuertes velocidades es menester agregarle el pesado lastre de plomo que muestra la figura 23. En este caso, el manejo de este peso considerable tiene que hacerse por medio de un torno, al cual se puede ajustar un regulador si se quiere practicar la integración mecánica de las velocidades.

Un contacto de fondo es muy útil en estos casos.

Hay que observar que los molinetes suspendidos toman la dirección de la velocidad del agua y por consiguiente miden siempre el valor de esta velocidad y no su componente normal que es la que entra en el valor del gasto. Es verdad que ambas velocidades coinciden cuando la sección de aforo cumple con las condiciones que hemos indicado más arriba, pero como esto no ocurre siempre rigurosamente, hay que tomar nota de este hecho. Por lo demás, variando el coseno de los ángulos muy lentamente en la vecindad de 0° (recuérdese que $\cos 8^\circ = 0.99$) el error introducido no es grande.

Los molinetes de varilla fija o móvil no tienen este inconveniente, siempre que la hélice sea de eje horizontal. Las hélices de eje vertical medirán siempre la velocidad absoluta, cualquiera que sea su dirección con respecto a la sección de aforo.

SECCIONES DE AFORO. - EJECUCIÓN DEL AFORO

Elegida la sección de aforo, es menester disponer en ella algún medio que permita colocar el molinete en las sucesivas verticales de la sección.

Desde luego, puede ocurrir el caso que la sección en que existe un puente cumpla con las condiciones de una buena sección de aforo y haya sido elegida como tal. Si el piso del puente sobre el punto más bajo del lecho no está a más de 5 mts., puede usarse el molinete de varilla fija (la varilla tiene 6 mts. de largo, pero es menester dejar 1 mt. sobrante para la maniobra). Si esa distancia no sobrepasa de 2,50 mts. puede usarse el molinete de varilla móvil, siempre que la construcción (barandilla) del puente lo permita. En los demás casos, hay que recurrir al molinete suspendido.

Como ejemplo, damos un aforo del río Laja, hecho desde el puente de Curanilahue (camino de Chillán a Los Angeles) con molinete Price suspendido (Gráfico fig. 33. La sección de aforo se ve en fig. 26), y un aforo del río Maipo en el puente de El Ingenio (fig. 27) practicado con molinete Ott suspendido.

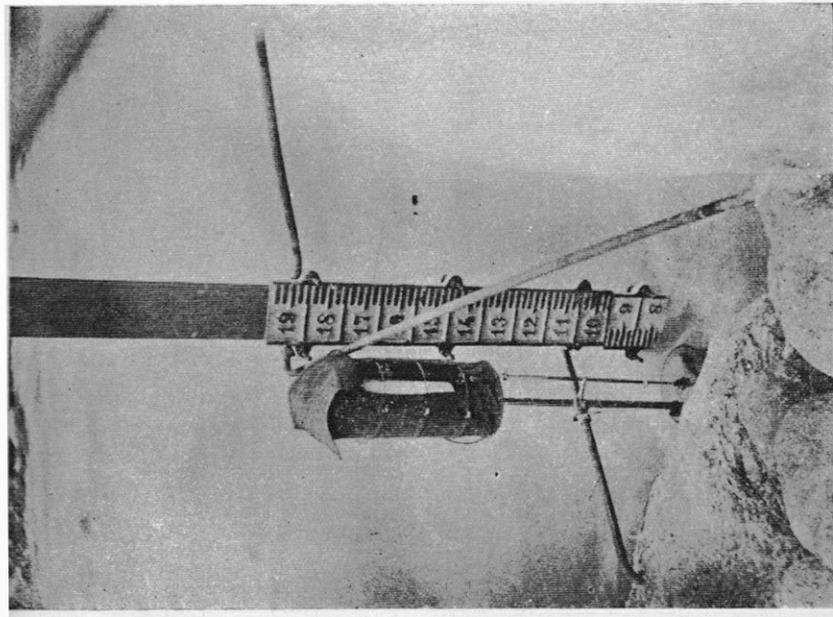


Fig. 24.—Limnigráfico i limnigráfico instalados en la sección de aforo del río Yeso en San Gabriel

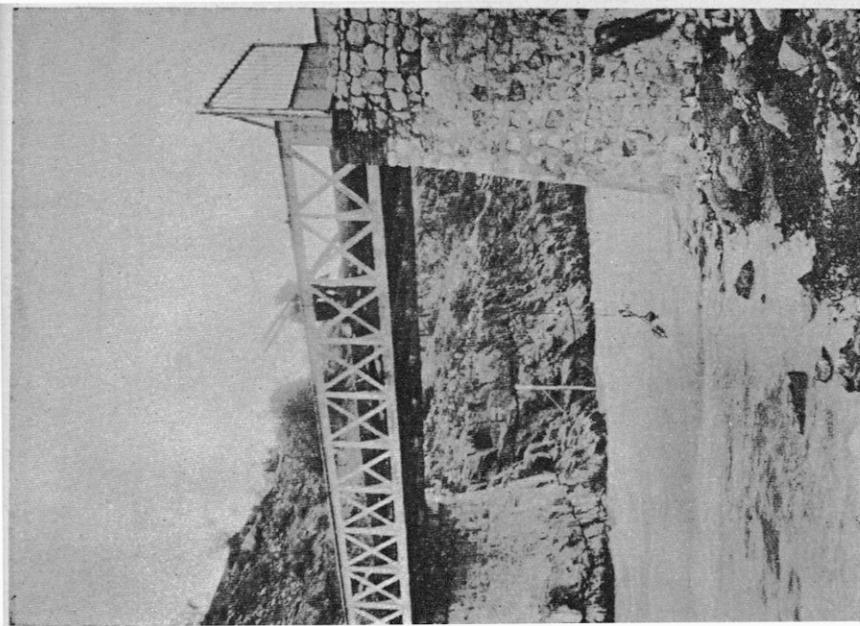


Fig. 27.—Sección de aforo del río Maipo en el puente de El Injerto. Molinete Ott suspendido.

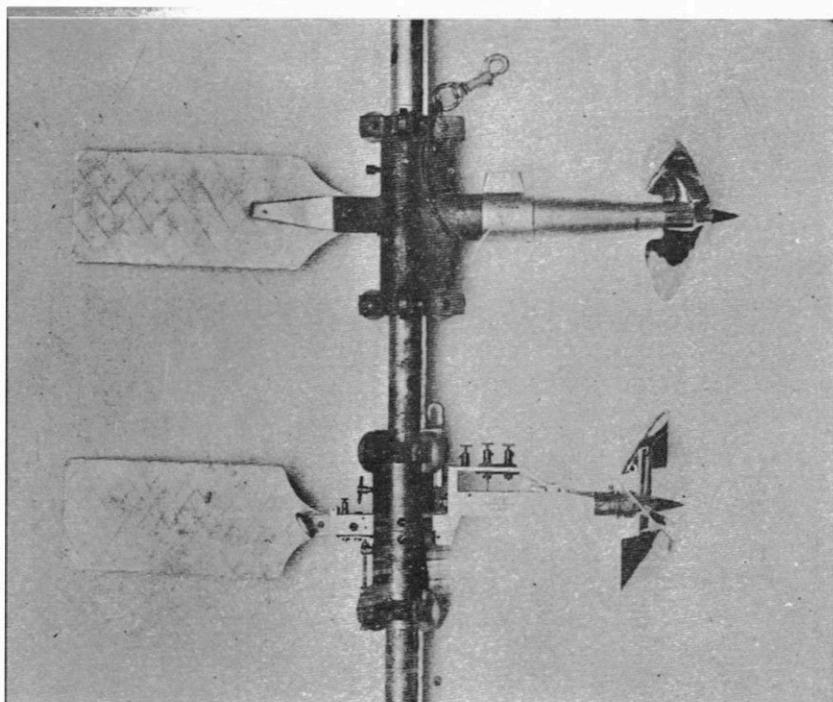


Fig. 25.—Molinetes Ott de varilla fija, con cuerpo central rodante.

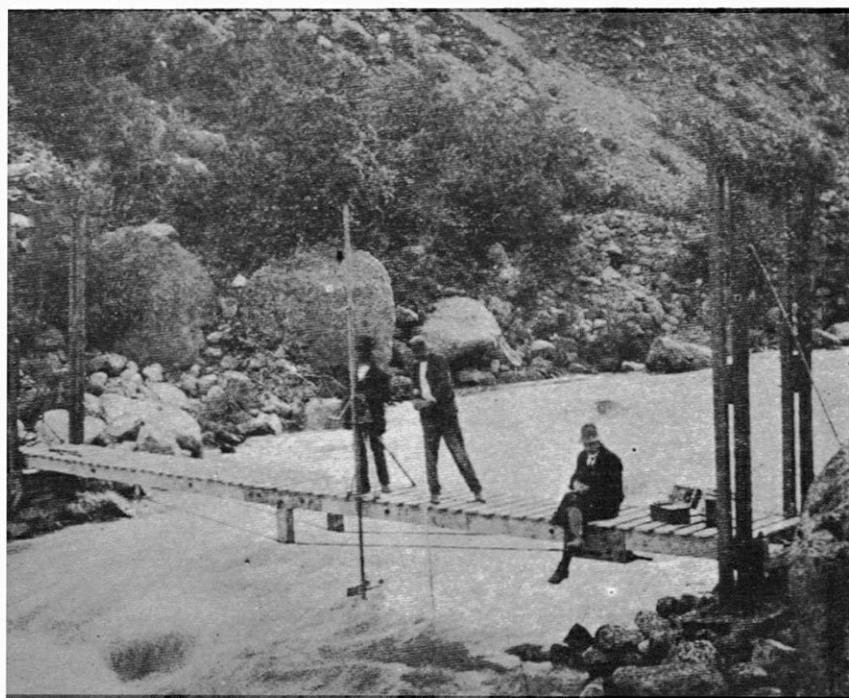


Fig. 29. Seccion de aforo del rio Yeso en San Gabriel.—Puente de aforo de 12 mts. de luz.—Molinete de varilla móvil.



Fig. 31.—Sección de aforo del río Cautín en Temuco.—Botes de aforo.

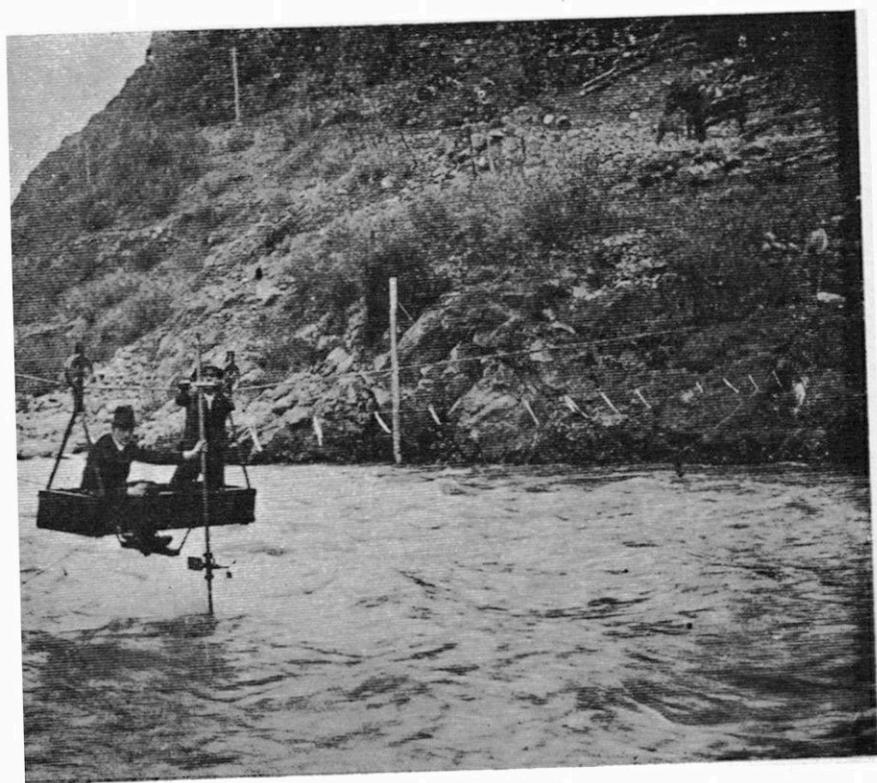


Fig. 30.—Sección de aforo del río Maipo en el Toyo.—Molinete de varilla fija.



Fig. 29.—Sección de aforo del río Juncaj en Juncaj. — Puente portátil de varilla fija, de 15 mts. de luz.—Molinete de varilla fija.

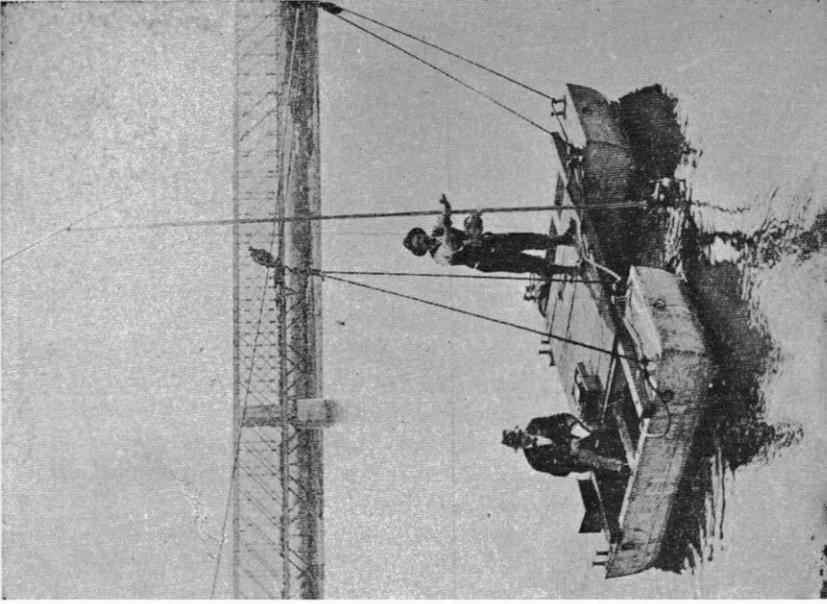


Fig. 32.—Aforo del río Cautín.—Molinete de varilla fija.—Determinación de velocidades medias por integración mecánica.

En el primer ejemplo, como se ve en el gráfico de velocidades, la velocidad media máxima no pasó de 1,10 mts. sobre una profundidad de 2,50 mts.

El molinete descendió con dos lastres de plomo o sea un peso adicional de 10 kilos. En el caso del Maipo en El Ingenio, con velocidad media máxima de 3,00 mts. / seg. sobre 3,00 de profundidad, fué necesario usar el molinete con su lastre más pesado (40 kilos) y manejarlo por medio del torno que se ve en la fotografía montado sobre dos maderos, encima de la viga baranda del puente.

Cuando no existe puente en la sección de aforo, el procedimiento empleado varia con el ancho, profundidad, velocidad, etc. de la corriente.

El caso más sencillo es aquel en que se trata de una sección con pequeña profundidad (no más de 1,00 mt.) y velocidad pequeña. Entonces el operador puede, entrando en el agua, llevar el molinete a su posición en las diferentes verticales marcadas de la sección transversal. No hay molestia alguna en este procedimiento cuando se dispone de un traje especial impermeable. El molinete que se puede emplear es el de varilla fija (tipo pequeño) o bien el molinete Price acústico (fig. 22) en que las señales eléctricas están reemplazadas por golpes de un pequeño martillo sobre un tímpano de cobre y que se transmiten hasta el oído del operador por la misma varilla que es hueca y sirve de tubo sonoro. Es menester tomar como precaución el alejar en lo posible el molinete del cuerpo del operador, para reducir la perturbación que éste origina en la corriente.

Cuando este procedimiento no es posible, hay que usar los que se indican a continuación:

Puentes de aforo.—Son pequeños puentes de madera calculados para el peso de tres o cuatro operadores. En la Inspección de Hidráulica se han construido para luces de 10, 12 y 15 mts., de tipo Fink, con tirantes de cables. Se disponen sobre estribos que permiten alzar los puentes a fin de sustraerlos a las creces. Como en estos casos, el puente se puede colocar cada vez tan cerca como se quiera de la superficie del agua, el molinete más adecuado es el de varilla móvil que se puede entonces utilizar con casi todo su largo. (Véase la fotografía de fig. 28 tomada en la sección de aforo del río Yeso en San Gabriel).

En el caso del río Juncal, en Juncal (fig. 29) el puente usado ha sido un puente desarmable de fierro, de 15 metros de luz, i el molinete, uno de varilla fija, por cuanto la altura de los pendolones (1,00 mt.) de este puente no permite acercar el tablero a la superficie del agua.

Cables.—Cuando el ancho de la corriente es superior a 15 metros, lo más económico es el aforo desde un carro que se mueve colgado de un cable de acero flexible, como es el caso del río Maipo en el Toyo (fig. 30). En esta sección un extremo del cable va amarrado a un ancla de fierro que ha sido sellada a la roca de la orilla derecha del río por medio de un barreno. El otro extremo (la orilla izquierda de la sección no presenta barranco de roca sino un terreno suavemente inclinado) pasa por sobre un trípode de madera y va a amarrarse a un muerto suficientemente enterrado en el suelo. Entre el trípode y el muerto el

cable se ha interrumpido para colocar una tuerca de tensión a fin de modificar el largo, y por consiguiente, la flecha del cable. El carro de aforo se ve suficientemente en la fotografía. En estos casos los molinetes que se pueden usar son el de varilla fija y el suspendido.

Botes.—Para anchos considerables y velocidades pequeñas, el procedimiento más adecuado es el de los botes de aforo (fig. 31). Estos botes son de forma especial, sin quilla, a fin de disminuir en lo posible su calado. Son siempre dos botes iguales que se colocan a 2,00 metros de distancia uno de otro y que se unen por medio de una plataforma. Colocando el molinete en el medio del borde anterior de esta plataforma, se evita en lo posible la perturbación que producen los botes en la corriente de agua. En la figura 32 (río Cautín en Temuco) el molinete usado ha sido uno de varilla fija, dispuesto para hacer la integración de las velocidades en cada vertical.—En el gráfico correspondiente (fig. 34) se ven estas velocidades medias comparadas con las que resultan de las velocidades medidas a diferentes profundidades en cada vertical. Se comprueba que las diferencias son siempre pequeñas.

BEGISTRO DE AFORO

El registro de aforo adoptado en estas operaciones es el del servicio hidrométrico suizo y va indicado con un ejemplo a continuación. En él como se ve se anotan los siguientes datos generales:

a) Nombre de la corriente de agua. *b)* Perfil de medida (sección de aforo). *c)* Molinete usado. *d)* Paleta (hélice) usada. *e)* Fecha del aforo. *f)* Número de vueltas correspondiente a cada señal de la campanilla o fono. (Hemos dicho que ese número es generalmente 1, 25, 50 o 100) y *g)* Distancia del eje del molinete del pié de la varilla, (o lastre cuando se trata de molinetes suspendidos). Como se comprende, este dato es necesario para conocer la posición del molinete cuando el extremo de la varilla toca fondo (caso de los molinetes de varilla móvil), cuando el molinete ha llegado al extremo de la varilla (caso de los molinetes de varilla fija) o cuando el lastre ha llegado a reposar sobre el lecho (caso de los molinetes suspendidos).

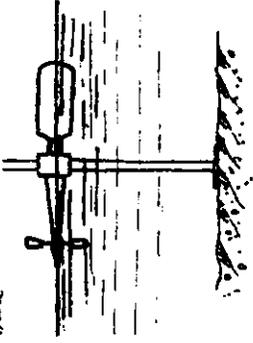
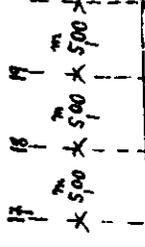
En seguida, en las columnas del registro se anotan las siguientes observaciones:

1.ª columna.—Valor de C_u .—Es la altura del extremo de la estaca colocada en la orilla derecha de la sección de aforo sobre el nivel del agua, con que se controla, como hemos dicho, la permanencia del movimiento durante la operación (cuando no se dispone de limnigrafo).

2.ª columna.—Valor de C_l .—Es el mismo dato tomado sobre la estaca de la orilla izquierda de la sección de aforo.

3.ª columna.—Hora al principio y al fin de la medición.

4.ª columna.—Vertical.—Se anota aquí el número o letra de orden de las

Alturas del nivel de agua	Dirección al nivel de agua	Vertical	Lecturas de las alturas en la vauca	Señales eléctricas después de 25 vueltas		Observaciones en el reloj de segundos y diferencias de las lecturas	$\Sigma [t]$	Medio $\frac{\Sigma [t]}{n}$	Velocidades V	Alturas absolutas del eje del molinete F	Observaciones y croquis
				Al =	Al' =						
190	8.00	21	0.00	0.00	0.00	0.00 - 19.2 = 38.4 - 58.2 = 18.0	78	4	19.5	0.67	(*) La lectura C; está hecha sobre el limnómetro del río Cautín, viene a la sección de aforo (**) Son lecturas sobre el tomo, correspondiendo la lectura 000 a la posición "superficie del molinete"
		19	0.20	0.00	0.00	19.2 - 19.2 = 19.8 - 19.8 = 0.0 33.2 - 15.8 = 17.4 33.2 - 38.6 = -5.4 (fondo)	110	3	36.7	0.35	
			0.37	0.00	0.00	(superficie)	342	3	11.4	1.15	
		18	0.00	0.00	0.00	0.00 - 11.2 = 22.6 - 34.2 = -11.6 11.2 - 11.2 = 23.8 - 36.4 = -12.6 19.2 - 13.4 = 25.8 - 39.6 = -14.4 0.0 - 18.2 = 28.4 - 42.6 = -14.2	344	3	12.1	1.08	
			0.40	0.00	0.00	0.00	39.6	3	13.2	0.99	
			0.60	0.00	0.00	0.00	42.6	3	14.2	0.92	
			0.80	0.00	0.00	0.00	61.0	3	20.3	0.64	
			0.97	0.00	0.00	0.00					
		17	0.00	0.00	0.00	(superficie)	384	4	9.6	1.36	
			0.20	0.00	0.00	0.00 - 9.2 = 18.4 - 28.2 = 38.4 9.2 - 9.2 = 19.8 - 29.8 = 10.0 1.94 - 10.2 = 10.2 - 10.2 = 0.0 0.0 - 10.2 = 20.6 - 31.6 = 10.4 0.0 - 10.4 = 21.6 - 33.4 = 11.0 0.0 - 13.4 = 25.8 - 37.2 = 11.4 12.4 - 12.4 = 11.4 - 12.2 = 0.8	400	4	10.0	1.31	
			0.40	0.00	0.00	0.00	42.6	4	10.6	1.23	Chilla derecha
			0.60	0.00	0.00	0.00	44.4	4	11.1	1.18	
			0.80	0.00	0.00	0.00	49.4	4	12.3	1.06	
			1.00	0.00	0.00	0.00					

verticales u ordenadas sucesivas en que se ha dividido la sección, número o letra que debe anotarse también en el croquis de la sección de aforo. Muchas veces, el número de orden que se adopta es la distancia en metros de la ordenada considerada a la orilla (izquierda o derecha) que se considera entonces como ordenada o vertical n.º 0,00.

5.ª columna.—Lecturas de las alturas en la varilla (o en el cable de suspensión si se trata de molinete suspendido). En esta columna se anotan los datos necesarios para fijar en cada vertical la posición del molinete. Si se trata por ejemplo de molinete de varilla móvil se anotarán en esta columna las lecturas de la varilla contra un punto fijo del soporte. La primera lectura corresponderá a la posición «superficie» del molinete o sea aquella en que el eje de la hélice coincide con la superficie del agua. En esta posición no se tomará velocidad, por quedar la mitad de la hélice fuera del agua. Si en seguida se desciende el molinete de 0,10 mts. en 0,10 mts. por ejemplo, las lecturas de la varilla deberán ir variando de la misma cantidad. Cuando la varilla toque el fondo, se hará también la lectura y se anotará que corresponde al «fondo». Si el molinete es suspendido, las lecturas se harán sobre el cable graduado de suspensión. Si el molinete es de varilla fija, se puede ir bajando el molinete de cantidades fijas partiendo desde la superficie, por medio del brazo transversal d (fig. 16). En tal caso se puede dar la denominación 0,00 mts. a la posición «superficie». Si se usa el torno indicado en la figura 17 las lecturas no se harán sobre la varilla sino sobre los punteros del torno, que se pueden colocar en la lectura 0,00 del cuadrante cuando el molinete ocupa la posición «superficie». Igual cosa se hará si el molinete suspendido se maneja con torno, (fig. 23) en cuyo caso el cable de suspensión no necesita ser graduado.

Naturalmente, en las observaciones y croquis se debe dejar constancia con claridad del procedimiento usado para fijar las posiciones del molinete en las verticales u ordenadas.

6.ª columna.—En esta columna, en los renglones superiores se anotan las lecturas del cronómetro. En los renglones inferiores se colocan las diferencias sucesivas de aquellas, que deberán ser iguales o diferir poco si el movimiento del agua es permanente.

Las columnas siguientes se llenan en la oficina, cuando se hace el

CÁLCULO DEL AFORO

7.ª columna.—Valor de $\Sigma \{t\}$.—Este valor no es otra cosa que el último tiempo anotado en la columna 6.ª (cuando la primera lectura ha sido 0,0 segundos) o la diferencia entre la última y la primera lectura cuando ésta difiere de 0,0.

8.ª columna.—Número de los t .—Es el número de observaciones hechas, o sea el número de lecturas del cronómetro menos una, o bien es el número de diferencias de tiempos (anotadas como dijimos en el renglón inferior de la columna 6.ª).

9.ª columna.—Dividiendo el valor de $\Sigma [t]$ por el número de los tiempos, o sea dividiendo la columna séptima por la octava se obtiene un valor medio del tiempo transcurrido entre dos señales sucesivas de la campanilla. De aquí se deduce fácilmente el número medio de vueltas por segundo que ha dado la hélice y por consiguiente, por medio de la fórmula del molinete (traducida en la curva de fig. 7) o directamente por medio del valor de t i de las tablas correspondientes (a que se refiere la nota de pág. . .) se obtiene el valor de la velocidad, que se anota en la .

10.ª columna.—Velocidades.

11.ª columna.—Alturas absolutas del eje del molinete. Estas alturas absolutas se consiguen cuando conjuntamente con el aforo se ha instalado un nivel topográfico en la orilla y se han hecho con él, lecturas sobre la varilla graduada del molinete. Esto se puede hacer como dijimos, cuando se usa el molinete de varilla móvil. Se comprende la relación que debe haber entre estas observaciones y las de la 5.ª columna. Las diferencias dan idea de la irregularidad de la superficie libre.

12.ª columna.—Observaciones y croquis.—Se anotan en esta columna todos los detalles de la sección de aforo y demás datos complementarios que se presenten.

Calculada así la libreta de aforo, el cálculo del gasto se hará determinando primeramente las velocidades medias en cada vertical. Para esto, con los datos de las columnas 5.ª y 10.ª se dibujará el gráfico de velocidades (figs. 33 y 34) o sea la curva de las velocidades en cada vertical. Midiendo con el planímetro la superficie encerrada por esta curva y dividiendo el valor de la superficie por la profundidad se tiene la velocidad media.

Con los valores de estas velocidades medias y el conocimiento de la sección transversal se dibujará esta sección y la curva de las velocidades medias, y se determinará por el procedimiento indicado al comienzo, la curva cuya superficie es el valor del gasto.



Fig. 5.

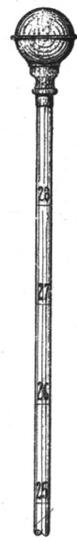


Fig. 6.

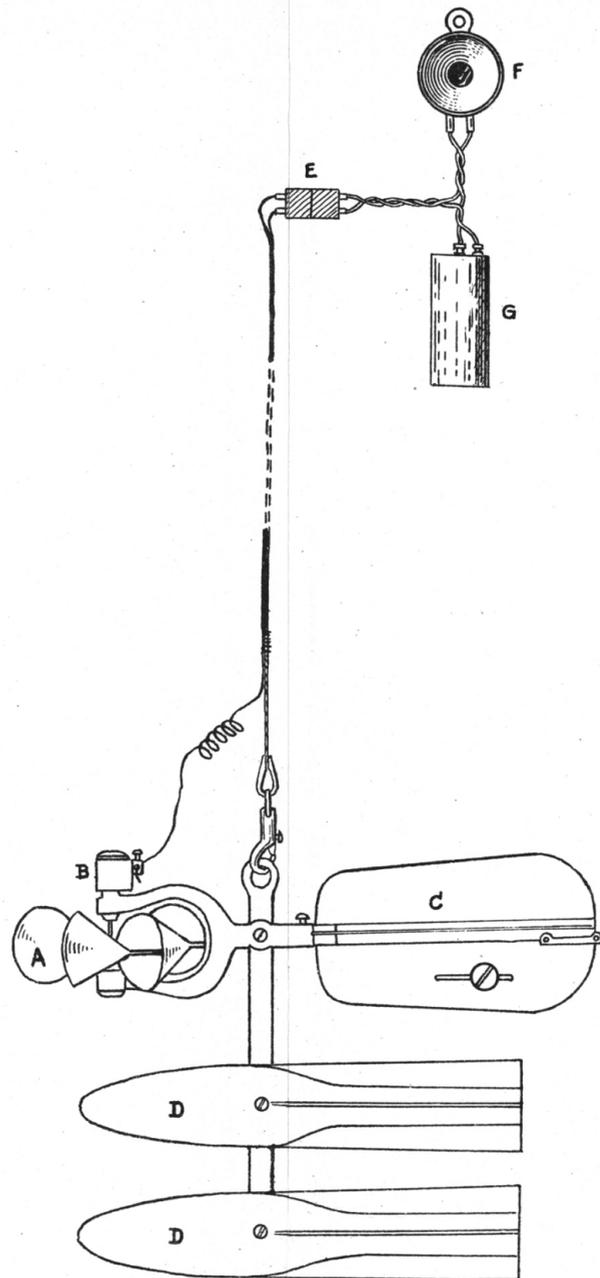


Fig. 20.- Molinete Price suspendido.-A, hélice de eje vertical, de capachos; B, mecanismo contador de vueltas; C, cola; D, lastres de plomo; E, enchufe; G, pila; F, fono.-

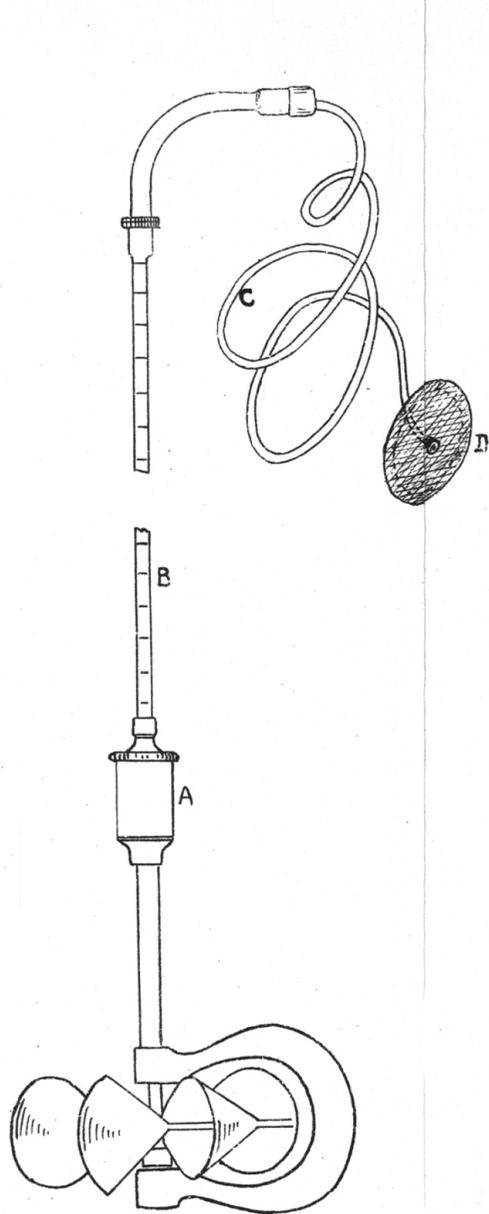


Fig. 22.- Molinete Price acústico. A, cámara con el mecanismo de golpes; B, varilla graduada hueca; C, tubo de goma; D audífono.-

GUSTAVO LIRA-AFORO DE RÍOS.- LÁMINA Nº 1

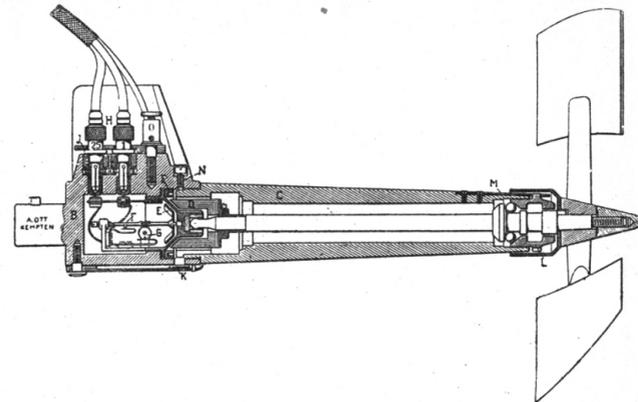


Fig. 15.- Detalle del contacto en cámara hermética. D, iman en forma de campana. E, ancla, F, contacto de vuelta en vuelta; G, rueda de 25 dientes para contacto cada 25 vueltas.

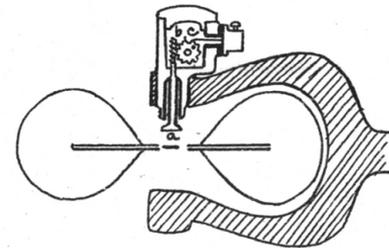


Fig. 21.- Molinete Price.-Detalle del contador de vueltas. (contacto cada 5 vueltas) ab, eje de la hélice, con tornillo sin fin en b; C, rueda de 10 dientes, provista de dos contactos.

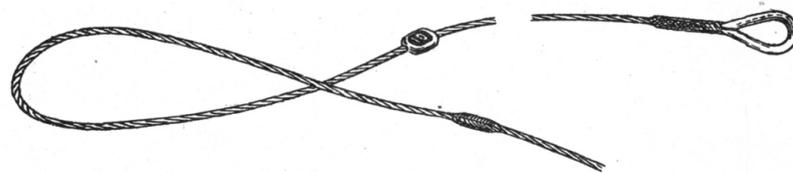


Fig. 8.- Cable de acero flexible graduado.

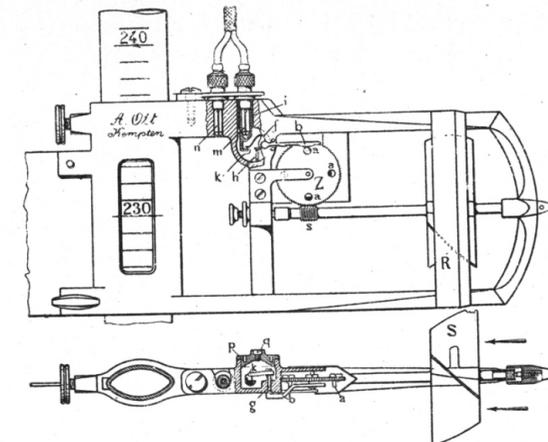


Fig. 13.- Molinete con contacto en cámara de aceite. S, tornillo sin fin, Z, rueda de 100 dientes, con cuatro contactos a cada 25 vueltas; f, pieza de contacto eléctrico en k; h resorte antagonista.-

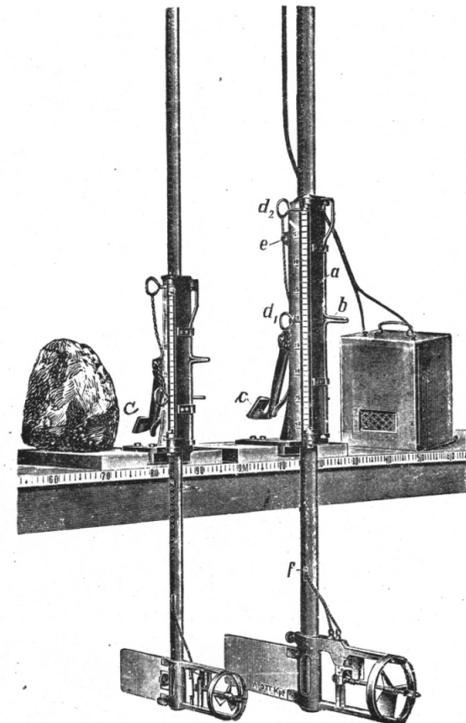


Fig. 18.- Molinete de varilla móvil. c, palanca de maniobra.

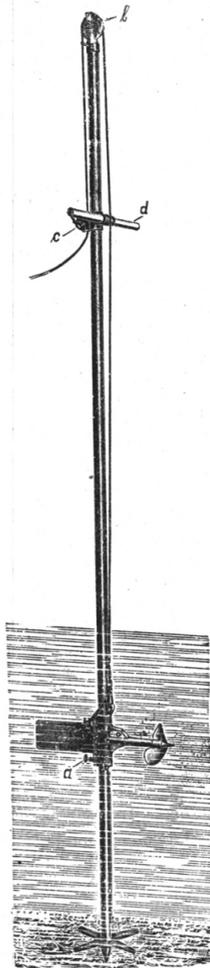


Fig. 16.- Molinete de varilla fija. a, tornillo para fijar el molinete; d, brazo de maniobra; l, polea; c, pieza de amarra del cable de suspensión.

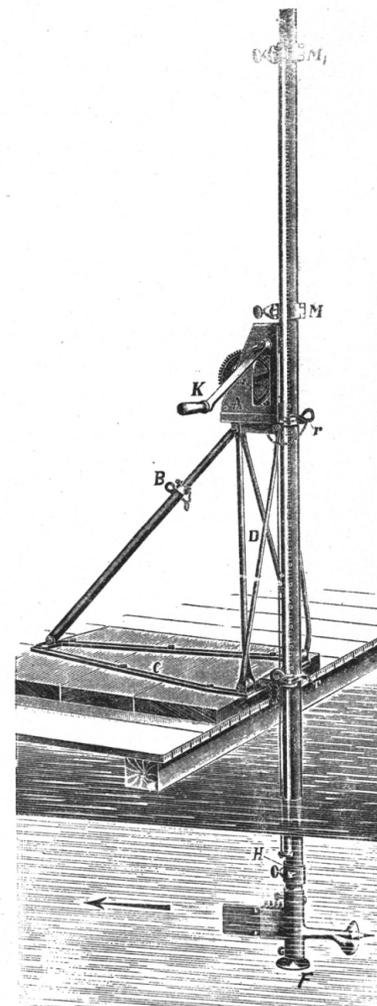


Fig. 19.- Molinete de varilla móvil; A, torno de maniobra; H, amarra para contravientos; F, contacto de fondo.

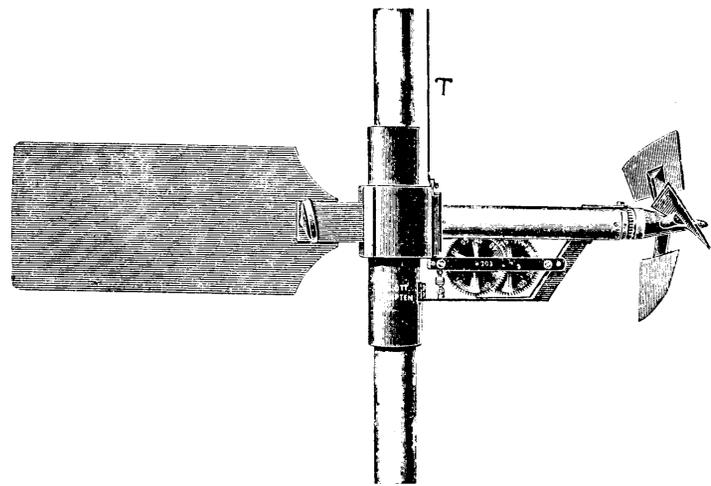


Fig. 10. - Molinete con contador mecánico. - Hélice a rayos, de tres aletas. Descanso posterior de acero sobre cojinete de ágata; descanso anterior de bolitas de níquel. Mecanismo descubierto.

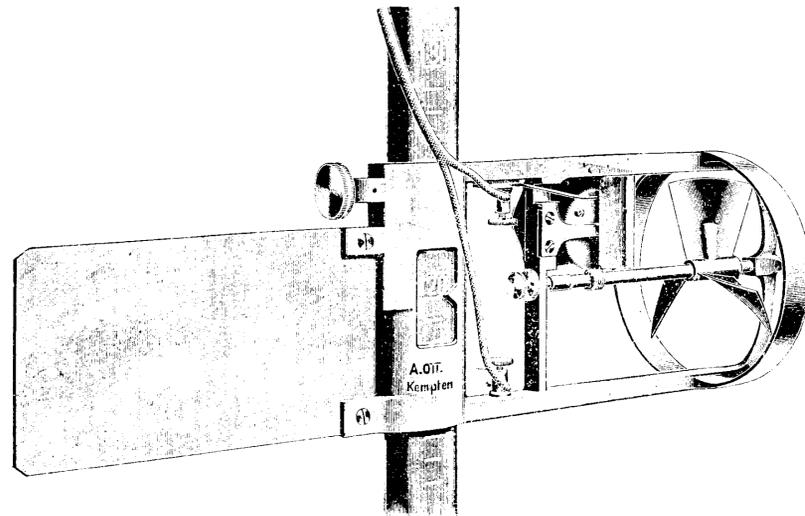


Fig. 11. - Molinete contador eléctrico. - Descansos de puntas de acero y ágata. Contacto eléctrico espuesto al agua.

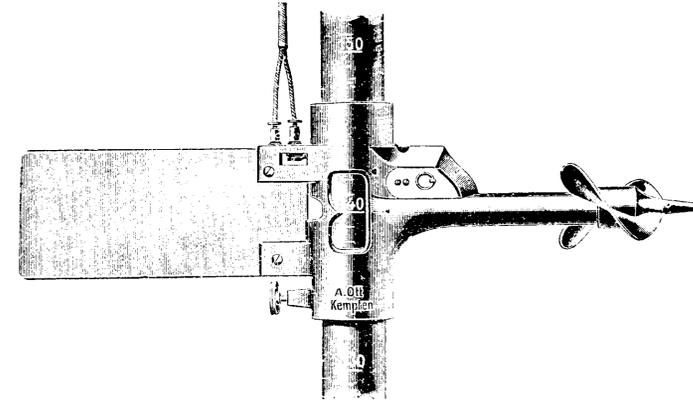


Fig. 12. - Molinete con contador eléctrico. - Mecanismo defendido del agua. Hélice de dos aletas curvas.

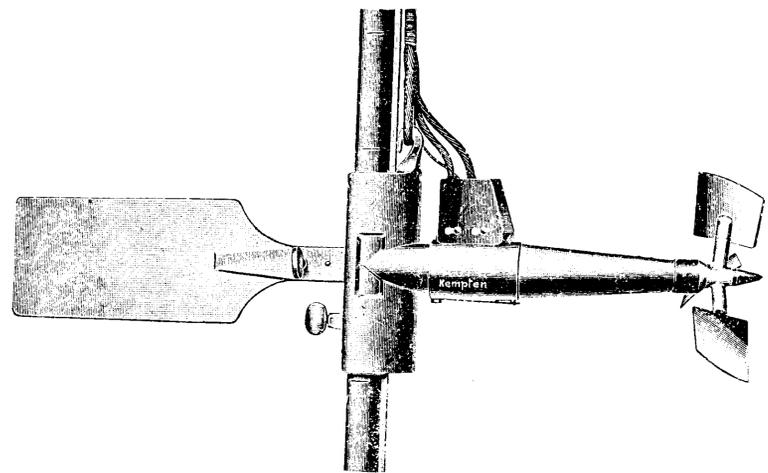


Fig. 14. - Molinete con contador eléctrico. - Contacto en cámara hermética Mensing - Ott.

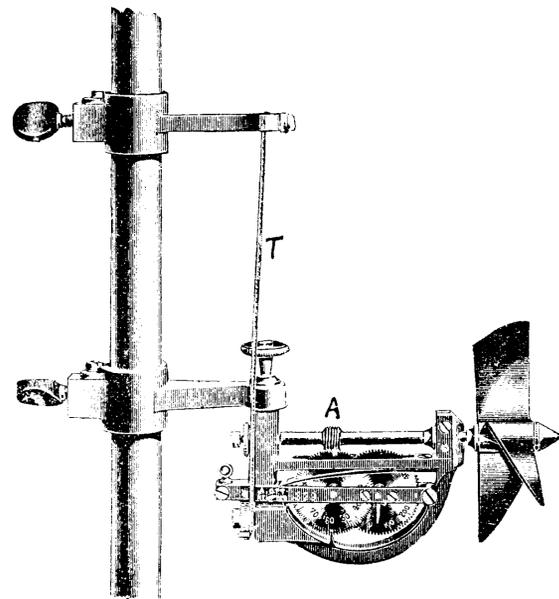


Fig. 9. - Molinete con contador mecánico. - Hélice recta de tres aletas. Descanso posterior de punta de acero sobre cojinete de ágata.

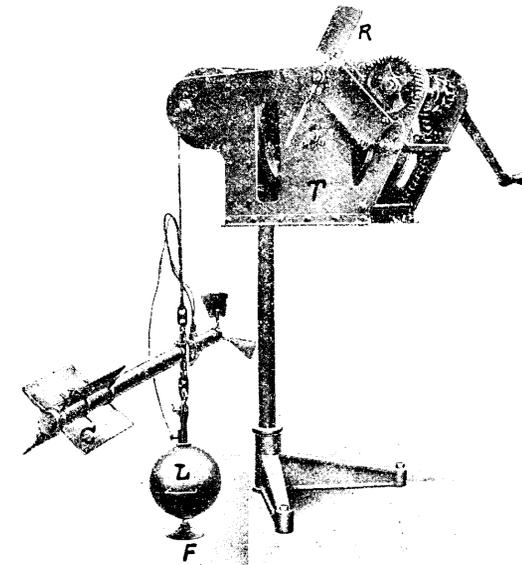


Fig. 23. - Molinete Ott suspendido. C, cola o timon; L, lastre de plomo; F, contacto de fondo; T, torno de maniobra; R, regulador.

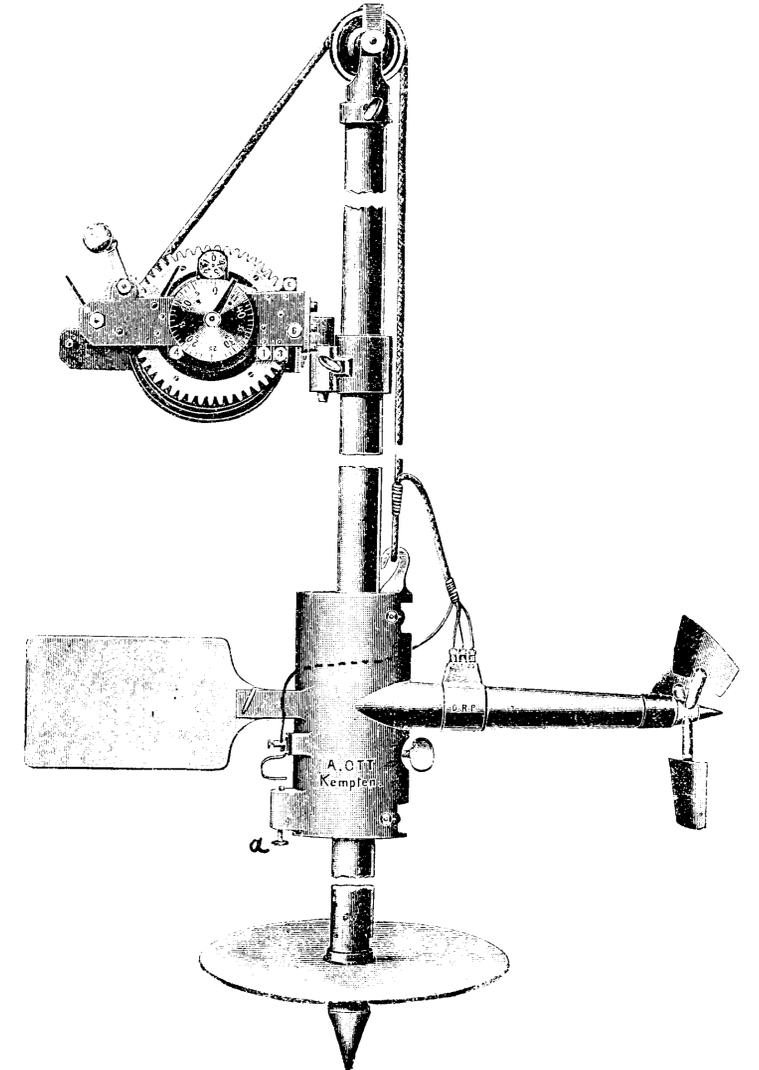


Fig. 17. - Molinete de varilla fija, provisto de torno. a contacto de fondo.

