

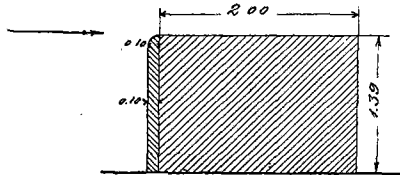
SERVICIO CENTRAL HIDRÁULICO⁽¹⁾

PROCEDIMIENTOS DE AFORO

Serie núm. 13.

Corresponde á la serie de Bazin núm. 117.

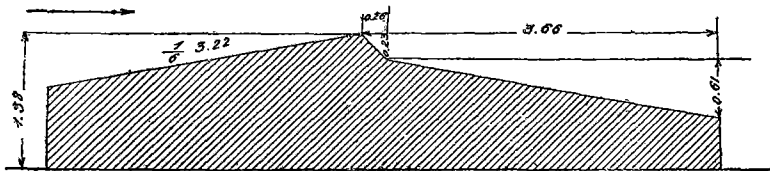
Número de experimentos: 5.



Carga h en milímetros.....	Coefficiente m del gasto.....
152	0,338
305	0,352
457	0,354
610	0,354
762	0,355
914	0,356
1.067	0,358
1.219	0,360
1.372	0,363
1.524	0,367
1.676	0,369
1.829	0,370

Serie núm. 14.

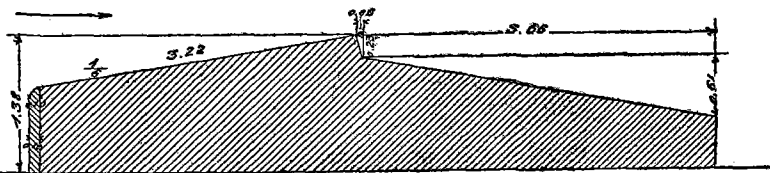
Número de experimentos: 6



152	0,355
305	0,377
457	0,394
610	0,403
762	0,406
914	0,406
1.067	0,405
1.219	0,405
1.372	0,404
1.524	0,404
1.676	0,403
1.829	0,403

Serie núm. 15.

Número de experimentos: 4.



152	0,371
305	0,389
457	0,400
610	0,408
762	0,412
914	0,415
1.067	0,416
1.219	0,415
1.372	0,414
1.524	0,413
1.676	0,412
1.829	0,411

Serie núm. 16.

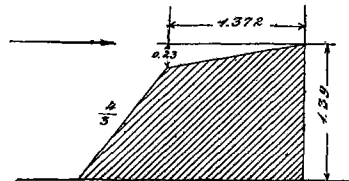
Número de experimentos: 4.



152	»
305	0,432
457	0,428
610	0,424
762	0,421
914	0,422
1.067	0,425
1.219	0,428
1.372	0,431
1.524	0,433
1.676	0,435
1.829	0,436

Serie núm. 17.

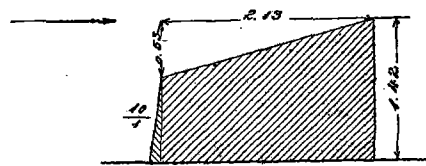
Número de experimentos: 5.



Carga h en milímetros.....	Coefficiente m del gasto.....
152	»
305	0,415
457	0,425
610	0,430
762	0,432
914	0,432
1.067	0,432
1.219	0,432
1.372	0,432
1.524	0,432
1.676	0,432
1.829	0,432

Serie núm. 18.

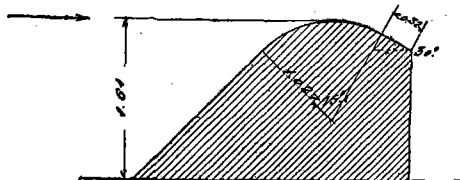
Número de experimentos: 5.



152	»
305	0,476
457	0,460
610	0,458
762	0,435
914	0,429
1.067	0,427
1.219	0,428
1.372	0,429
1.524	0,429
1.676	0,429
1.829	0,429

Serie núm. 19.

Número de experimentos: 8.



152	0,367
305	0,394
457	0,412
610	0,430
762	0,439
914	0,443
1.067	0,447
1.219	0,450
1.372	0,452
1.524	0,455
1.676	0,457
1.829	0,458

Series números 20 y 21.

Número de experimentos: 13.

Vertedero en pared delgada de 1 m,60 de altura sobre el fondo del canal, cayendo la lámina de agua libremente en la atmósfera.

30,5	0,4286
60,9	0,4268
91,4	0,4258
121,9	0,4242
152,4	0,4230
182,9	0,4215
213,3	0,4204
243,8	0,4194
273,5	0,4186
304,8	0,4174
335,3	0,4166
365,8	0,4158
396,2	0,4150
426,7	0,4145
457,2	0,4136
487,7	0,4129
518,2	0,4122
548,6	0,4115
579,1	0,4109
609,6	0,4106
640,1	0,4100
670,6	0,4097
701,0	0,4095
731,5	0,4094
762,0	0,4094
792,5	0,4094
823,0	0,4094
853,4	0,4094
883,9	0,4094
914,4	0,4094
944,9	0,4095
975,3	0,4095
1005,8	0,4095
1036,3	0,4098
1066,8	0,4099
1097,3	0,4102
1127,8	0,4105
1158,2	0,4107
1188,7	0,4109
1219,2	0,4112

(1) Véase el número 1901 de esta Revista.

Carga h en milímetros.....	Coficiente m del gasto.....
1249,7	0,4113
1280,2	0,4116
1310,6	0,4118
1341,1	0,4122
1371,6	0,4125
1402,1	0,4126
1432,6	0,4129
1463,0	0,4130
1493,5	0,4131
1524,0	0,4133
1554,5	0,4133
1585,0	0,4133
1615,4	0,4134
1645,9	0,4134
1676,4	0,4135
1706,9	0,4135
1737,4	0,4135
1767,8	0,4136
1798,3	0,4136
1828,8	0,4136

(Sigue Series números 20 y 21.)

CURVAS DE GASTOS

La indeterminación de estas curvas y los procedimientos arbitrarios á que se acude para construirlas á falta de aforos suficientes hace que sea de interés el estudio que sobre ellas ha hecho Mr. F. W. Hanna, Ingeniero de los Estados Unidos, y nos mueve á publicarle, aclarándole y agregando algunas representaciones gráficas.

Este Servicio central ha deducido de este estudio algunas reglas que cree de utilidad en la práctica, como indicaciones que orientan siempre y permiten una mayor exactitud en la determinación de las curvas de régimen anual, y las ha incluido en la Instrucción en la parte relativa á *Curvas de gastos*.

Curvas de áreas y velocidades medias.

Como el caudal de una corriente es el producto del área del perfil transversal por la velocidad media correspondiente, el modo más conveniente y lógico de guiarse en la construcción de la curva de gastos es estudiar los dos elementos citados. Es más fácil seguir los cambios en estas variables individuales que en el producto. Todo lo que nos dé luz sobre la naturaleza de estas funciones será un conocimiento aprovechable en cuanto á la naturaleza y situación de la curva de gastos.

Tomando en una sección dada y para diversos estados de la corriente los caudales, velocidades medias y áreas como abscisas, y las alturas de escala como ordenadas, se ve que existe entre éstas y aquéllas relaciones curvilíneas. Además, donde coinciden las condiciones de curva del eje del río, sección transversal, pendiente y naturaleza del lecho, sea en la misma corriente ó en otra distinta, son iguales la curvas obtenidas.

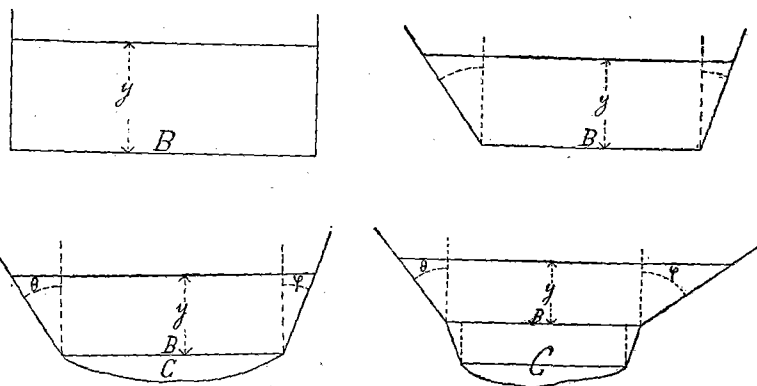
Esta coincidencia indica claramente la fuente de investigación; pero también la imposibilidad de deducir una ley ecuacional exacta y al mismo tiempo general. De estos elementos determinativos, el influjo de la curva se puede omitir, pues siempre es posible en la práctica elegir una situación de la estación que le elimine.

De los otros tres sólo afecta al área el perfil transversal, mientras que todos ellos influyen en la velocidad y consecuentemente en el caudal.

Curva de áreas de las secciones transversales

Para buscar la ley que rija la curva de las áreas, podríamos suponer el contorno de la sección transversal formado por arcos de parábola de eje vertical; como éstos pueden ser cóncavos, ó convexos y la recta es también un caso particular de la parábola, se comprende que esta representación tendría la ventaja de ser muy general y además ajustarse mucho á la realidad y de ella podríamos partir para nuestro estudio; pero como es bastante complicado se puede suponer que el perfil está constituido por rectas cortas. Según esto, la sección estará formada por rectángulos y trapecios superpuestos, y como la longitud de las rectas puede ser muy pequeña, la fórmula que se base en este supuesto no envolverá un gran error.

He aquí los esquemas de varias secciones, desde la rectangular á las irregulares:



Si C representa el área del espacio situado bajo la base de uno de los trapecios, B la longitud de la base, θ y φ los complementos del declive de sus lados, x su área variable y $A, \frac{1}{2}(\tan \theta + \tan \varphi)$, tenemos para expresión de Ω

1. $\Omega = x = By$
2. $\Omega = x = Ay^2 + By$
3. $\Omega = x = \frac{1}{2}(\tan \theta + \tan \varphi) y^2 + By + C$

En estas ecuaciones A, B y C son siempre positivas, salvo el caso de taludes desplomados, B, C, θ y φ varían periódicamente en la 3, cada vez que cambia el talud, en cuyo caso C es el área de la parte de sección que, siguiendo la marcha natural, se ha calculado anteriormente; B es la base del nuevo trapecio; θ y φ toman los valores de los nuevos taludes, y es la altura sobre la base B .

Un examen de estas ecuaciones revela los siguientes hechos: 1.º Que en un canal rectangular la curva de las áreas es una recta. 2.º Si el canal es trapecial la curva es una parábola. 3.º Si es una serie de rectángulos y trapecios superpuestos la curva es una sucesión de arcos parabólicos con parámetros variables y con ejes horizontales, que se extienden hacia la derecha, salvo el caso de taludes fuera de aplomo que se puede desechar.

Diferenciando las ecuaciones 1, 2 y 3 respecto de x , resulta las expresiones siguientes:

$$4. \quad \frac{dy}{dx} = \frac{1}{B}$$

$$5. \quad \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2A + B}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{(\tan \theta - \tan \varphi) y + B}$$

En estas ecuaciones $\frac{dy}{dx}$ es la tangente del ángulo, que una tangente de la curva de las áreas hace con el eje de la x . Siempre

que $dx > dy$, hace con dicho eje un ángulo agudo. Si para incrementos iguales de y recibe el área un aumento repentino de valor, como ocurre siempre que hay una disminución brusca de la inclinación de los taludes, la tangente $\frac{dy}{dx}$ se hace súbitamente más pequeña y hay un cambio correspondiente en la dirección de la curva. Si la pendiente se hace horizontal el cambio en la curva es un ángulo brusco y á un descenso gradual se redondea separándose. Si el talud se aproxima á la vertical la curva se hace más recta y llega á serlo en absoluto cuando el talud es vertical, puesto que $\frac{dy}{dx}$ se hace constante.

Diferenciando las ecuaciones 4 á 6, y multiplicando por x se tiene:

$$7. \quad \frac{d^2x}{dy^2} x = 0$$

$$8. \quad \frac{d^2x}{dy^2} x = 2Ax$$

$$9. \quad \frac{d^2x}{dy^2} x = (\tan \theta + \tan \varphi) x$$

Por la teoría de la curvatura cuando $\frac{d^2x}{dy^2} x$ es positiva, la curva es convexa hacia el eje de las y . La inspección de las ecuaciones demuestra que es siempre positiva, y, por lo tanto, la curva de la área es siempre cóncava hacia el eje de las x .

Del razonamiento anterior se deducen lógicamente los siguientes hechos:

A la construcción de la curva debe preceder un estudio cuidadoso del perfil de la sección transversal del río. Si ésta es rectangular ó trapezoidal, la curva puede trazarse dibujando algunos puntos principales y trazando entre ellos una recta ó una parábola, según el caso. Si el canal es irregular, caso general en las estaciones de aforos, la construcción de una curva continua sólo puede hacerse por medio de puntos numerosos que acusen las variaciones de la sección correspondiente á gran número de alturas y uniendo estos puntos por un trazado continuo.

Aunque el autor se detiene en estas conclusiones, debemos notar que, por lo expuesto anteriormente, se sabe también que está constituida por arcos de parábola que podemos construir por la ecuación 3 para los distintos valores de θ y φ .

Curva de velocidades medias.

La empresa de determinar la naturaleza de la curva de las velocidades medias no es fácil. El hecho de que tan variables y dudosos elementos, como la rugosidad del lecho, la pendiente, el área de la sección y el perímetro mojado entren en su composición, hace que sea muy indeterminada.

La fórmula de M. Chezy

$$v = c \sqrt{Ri}$$

tomando para c el valor de Kutter, es probablemente, según Hanna, la mejor de que se tiene conocimiento. Se puede escribir esta fórmula de la manera siguiente: $v^2 = C^2 i \frac{\Omega}{\chi}$, siendo Ω , como hasta aquí, el área de la sección, y χ el perímetro mojado. Ahora, sustituyendo los valores de Ω de las ecuaciones 1, 2 y 3 en esta expresión, resultan las siguientes ecuaciones de la curva de velocidades medias para las condiciones respectivas de la sección representada por los valores de Ω , sustituidos:

$$10. \quad v^2 = C^2 i \frac{By}{\chi}$$

$$11. \quad v^2 = [C^2 i \frac{Ay^2 + By}{\chi}$$

$$12. \quad v^2 = C^2 i \frac{\frac{1}{2}(\tan \theta + \tan \varphi) y^2 + By + C}{\chi}$$

Si i se considera constante, como ocurre para una sección transversal de un canal uniforme y caudal permanente; si C se considera también constante, que es prácticamente el caso cuando el cambio de la altura no produce aumento de rugosidad del lecho y cuando el gasto permanece constante, y si el aumento de χ se supone despreciable, como se puede hacer con pequeño error para ligeros aumentos de altura en una corriente ancha y de orillas regulares, entonces la ecuación 10 es una parábola con su eje vertical, la 11 una hipérbola de eje vertical, la 12 representa una serie de hipérbolas con excentricidades varias, y cuyos ejes son verticales, excepto cuando $B^2 - 2(\tan \theta + \tan \varphi) C$ es negativa, caso en que son horizontales. Esto es equivalente á decir que cuando el área, bajo la base del trapecio, multiplicada por dos veces la suma de las tangentes de los ángulos que las orillas hacen con la vertical, es mayor que el cuadrado de la base del trapecio, la curva está rebatida y el eje de la hipérbola es horizontal. A consecuencia de las propiedades de estas curvas y la dirección de sus ejes, si C , i y χ se miran como constantes, se puede esperar que la curva de velocidades medias será siempre cóncava hacia el eje de las v , cuando el canal es rectangular ó trapezoidal y puede serlo ó no cuando el canal consiste en una serie de trapecios, según que $B^2 - 2(\tan \theta + \tan \varphi) C$ es positivo ó negativo.

Evidentemente estas parábolas é hipérbolas serán considerablemente modificadas por variaciones en la rugosidad del lecho, pendiente y perímetro mojado, pero las modificaciones destruirán rara vez la semejanza. El efecto de χ es siempre una cantidad que aumenta al aumentar la altura, y tenderá á empujar la curva hacia al interior de la curva teórica, esto es á hacerla acercarse al eje de las velocidades. El efecto de i es, tanto positivo como negativo en su acción, y puede aumentar ó decrecer para aumentos de los valores de y . Sus cambios dependen del declive del canal agua-arriba y agua-abajo de la estación y de la condición de estar el río en período de aumento ó disminución del caudal. Al aumentar la altura de escala, aumenta generalmente el coeficiente de rugosidad del canal y, por lo tanto, generalmente disminuye el valor de C . Su efecto en el gráfico teórico es generalmente conjunto con el de χ . Los complicados efectos del perímetro mojado, pendiente y rugosidad en las curvas teóricas hace absolutamente necesario un estudio cuidadoso de las condiciones del punto de estación y una construcción inteligente de la curva de las velocidades.

Así, pues, se puede trazar una curva teniendo presentes las curvas teóricas de que se viene hablando, y estudiando cuidadosamente el perfil de la sección transversal para los aumentos del área y del perímetro mojado, tomando en cuenta la condición de las orillas del río, tanto respecto del desarrollo de hierbas y árboles como de otras obstrucciones que afecten al coeficiente de rugosidad, inspeccionando las condiciones del cauce agua-arriba y agua-abajo para la influencia que pueda tener en la pendiente é investigando el régimen de cada aforo para ver si la corriente está en estado de caudal permanente cuando se ha hecho.

Ecuación de caudales.

Curva de gastos.—Puesto que el gasto de una corriente para un estado dado es el producto del área y de la velocidad media en dicho estado, las ecuaciones del gasto (curva de gastos) se hacen:

$$13. \quad Q = \frac{C \sqrt{i}}{\sqrt{\chi}} (By)^{\frac{3}{2}}$$

$$14. \quad Q = \frac{C \sqrt{i}}{\sqrt{\chi}} (Ay^2 + By)^{\frac{3}{2}}$$

$$15. \quad Q = \frac{C \sqrt{i}}{\sqrt{\chi}} \left[\frac{1}{2} (\tan \theta + \tan \varphi) y^2 + By + C \right]^{\frac{3}{2}}$$

Toda estas ecuaciones de caudales son de un grado muy complicado, impropias para la aplicación práctica, pero sirven para mostrar los siguientes hechos:

1.º La curva de gastos para una sección rectangular ó trapezoidal puede ser determinada donde es posible dar á C , χ é i valores satisfactorios.

2.º La curva de gastos para una sección irregular de cauce, lo que es el caso general, en los ríos es una ecuación muy complicada de 6.º grado en Q é y , y contiene además las cantidades variables C , i , χ , $\tan \theta$, $\tan \varphi$, B y C , siendo de este modo imposible obtener un método factible de aplicarla.

3.º La primera derivada $\frac{dQ}{dy}$ de las ecuaciones 13, 14 y 15 demuestra que la tangente de la curva hace un ángulo agudo con el eje de las y , y es siempre una función creciente para aumentos de alturas, á menos de estar influida por fluctuaciones desusadas de i , χ y C .

4.º La segunda derivada $\frac{d^2Q}{dy^2}$ de estas ecuaciones, demuestra que la curva es siempre convexa hacia el eje de las y , y, por consiguiente, cóncava respecto del de las x . Las fluctuaciones de i , χ y C no serán probablemente nunca tan grandes que alteren estas condiciones.

5.º El factor capital y director que regula la marcha de la curva de gastos es la sección del cauce y su naturaleza.

Aplicación de las curvas.

Hasta aquí se ha considerado solamente la naturaleza y modo de construcción de las curvas de áreas de la sección transversal y velocidades medias. Queda todavía, sin embargo, deducir su utilidad práctica. Evidentemente, ninguna de ellas será de mucho uso por sí misma, porque es de poco interés la determinación del área ó velocidad media como último resultado. La única función en el problema de la hidrografía es como auxiliares que entran en la determinación del caudal, siendo el caudal el simple producto de los dos valores.

El dibujo del perfil y la curva de las áreas de la sección transversal de un río son muy importantes para todas las estaciones permanentes de aforo. Este perfil debe ser muy cuidadosamente determinado por medio de la sonda en estiaje, y haciendo una nivelación de las márgenes hasta el límite de las más altas aguas. El dibujo de la curva de áreas puede ser determinado por el del

perfil. Si el área se calcula para varias alturas que se ha elegido en los puntos críticos de la sección transversal, se puede trazar una curva segura tomando las áreas como abscisas y las alturas como ordenadas. Esta curva, una vez construída para una estación permanente, se convierte en una norma por la cual pueden ser contrastadas las áreas calculadas, obtenidas al tiempo de los aforos. También cuando por motivo de crecidas ó cualquier otro impedimento no se puede hacer sondeos en el río, las profundidades pueden ser obtenidas directamente del dibujo del perfil, y el área tomada directamente del de la curva de áreas.

Se debe mencionar como uso adicional muy importante la conexión de las indicaciones de esta curva con las de la de los gastos para determinar ésta.

Mientras que la curva de las áreas puede obtenerse inmediatamente para una estación, la curva de velocidades sólo se puede construir después de hacer una serie de aforos. Tan pronto como se haya hecho algunos acertadamente distribuídos, las velocidades pueden ser calculadas y trazada la curva más probable. Esta curva, tomada como norma, servirá para refrendar las subsiguientes determinaciones de velocidades, y, por consecuencia, descubrir las condiciones del remanso, errores de cálculo y defectos del hidrómetro. Cuando todas las mediciones ó aforos anuales estén hechos, esta curva de velocidades medias puede ser trazada para el período completo y entonces usada en conexión con la curva de áreas para construir la de gastos.

Aun en el caso de que las mediciones estén algo en desacuerdo una con otra, ó no estén bien distribuídas, es relativamente fácil trazar ó extender la curva de velocidades, la cual es mucho menos complicada que la de los gastos.

Usando el gráfico de las áreas y de las velocidades así construídas, se puede trazar una curva de gastos satisfactoria casi invariablemente.

Se puede obtener puntos para cada 0,20 ó 0,30 m. de aumento de altura cuando el grado de curvatura es alto, pero cuando la curvatura es próxima á cero estos intervalos pueden aumentarse algo.

El estudio que antecede debe servir de orientación y de base á nuevos estudios que el celo de los Ingenieros encargados les sugiera, y desde el primer momento, unido á las prescripciones formuladas sobre este asunto en la Instrucción, debe tener por resultado suprimir las interpolaciones y aun extrapolaciones lechadas arbitrariamente para trazar curvas de gastos que no pueden dar resultados fidedignos.

Madrid 15 de Noviembre de 1911.

El Ingeniero 2.º Jefe.

Manuel de la Torre y Equía.

EXAMINADO

El Ingeniero Jefe,

R. Gelabert.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

La industria automovilista en Bélgica.

El 15 de Enero se ha inaugurado por undécima vez el Salón del automóvil de Bruselas, y en él se ha puesto de relieve el desarrollo de la industria automovilista de este país; el número de constructores no es muy grande, una quincena solamente,

pero su producción es importante; citaremos, entre los más conocidos, la Fábrica nacional de armas, en Herstal, cerca de Lieja; las fábricas Minerva, en Amberes; la Sociedad Auto-Metalúrgica, en Marchienne-au-Pont, entre Maus y Namur; la Sociedad Pipe, en Bruselas, etc.

El número de automóviles en circulación se calcula actual-