

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE OCTUBRE DE 1890.

4.ª Serie.

Tomo 8.º

Número 20.

AÑO XXXVIII DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Estudio sobre aprovechamiento de aguas en el valle del Ebro, por D. Ramón García.—Carreteras provinciales de Barcelona, por D. Melchor de Palau.—Lamina 110: *Puente sobre el río Mogent*.

ESTUDIO SOBRE APROVECHAMIENTO DE AGUAS EN EL VALLE DEL EBRO

INUNDACIONES

(Continuación.)

El estudio del aprovechamiento de las aguas de un valle, comprendiendo en él los procedimientos para evitar los perjuicios que su exceso ocasiona, es acaso uno de los más difíciles que puedan ofrecerse á un Ingeniero, por la multitud de problemas técnicos y económicos que surgen al aplicar el agua á los riegos, y por la incertidumbre que acompaña siempre á los resultados que se persiguen con las obras cuyo objetivo es el régimen de las corrientes. Las dificultades que se refieren á esta última parte dependen principalmente del gran número de hechos, aún no bien conocidos y analizados, que concurren en la producción de las inundaciones, y en dificultades de carácter técnico que aún no ha podido vencer la hidráulica al tratar de corrientes en que todos sus elementos son variables con el lugar y con el tiempo.

Mr. Kleitz ha dado una teoría acerca de este movimiento, llamado «no permanente», mediante la cual pueden conocerse algunas leyes, á que obedecen las aguas de inundación en su marcha por un valle, teoría de la que extractaremos lo más esencial, si no para aplicarla, porque la falta de datos no lo consiente, para dar á conocer al menos cuáles son las más indispensables y señalar uno de los trabajos á que pudieran dedicarse con fruto las divisiones hidrológicas.

Las fuerzas que actúan sobre un elemento líquido de forma paralelepípeda son: la gravedad, la inercia y las resistencias interiores; y como éstas tie-

nen que equilibrar á las dos primeras, su resultante será igual y de dirección contraria, y además pasará como la de aquéllas por su centro de gravedad.

Las resistencias interiores que referidas á la unidad superficial reciben el nombre de elásticas, pueden descomponerse en fuerzas normales N á las caras del elemento y en tangenciales T ; si se toman tres ejes coordenados s, q, r , uno de los cuales s , coincida con la trayectoria que describe el elemento líquido y se designa por P al tercio de la suma de las presiones N , que para la unidad de superficie se ejercen sobre los elementos coordenados, dicha presión es constante, cualquiera que sea la dirección de los ejes; y como además tiene que contrarrestar á la presión exterior de la atmósfera, vendrá afectada del signo negativo.

Descomponiendo la fuerza P según los ejes, y llamando ρ á la densidad, las componentes serán:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{dP}{ds} \quad -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dq} \quad -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr}.$$

Además de las fuerzas moleculares interiores actúan también las fuerzas moleculares dinámicas, y si llamamos f_s, f_q, f_r á las componentes de éstas, en dirección de los ejes, la resultante de todas las fuerzas moleculares tendrá por componentes

$$f_s - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{ds}, \quad f_q - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dq}, \quad f_r - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr}.$$

Llamando g_s, g_q, g_r á las componentes de la gravedad, é I_s, I_q, I_r á las de la inercia por unidad de volumen, resultará que la suma de las componentes todas que actúan sobre un elemento, según el eje de las s , que es el del movimiento, será

$$\left(f_s + g_s + I_s - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{ds} \right) d\omega ds$$

para todo el elemento de área ω y de volumen $d\omega ds$.

Llamando v á la velocidad, el trabajo desarrollado por todas estas fuerzas en dirección del eje de las s en su tiempo dt será nulo y vendrá expresado por la ecuación

$$v dt \left(f_s + g_s + I_s - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{ds} \right) d\omega ds = 0.$$

Esta ecuación, que sólo se refiere á un elemento de volumen, debe extenderse: 1.º, á todos los que constituyen un filete líquido, y 2.º, á todos los filetes que forman la corriente entre las secciones ω y ω' .

Teniendo en cuenta que el incremento de la velocidad viene expresa-

do por

$$\frac{d(v + \frac{dv}{ds} ds)dt}{dt}$$

que equivale á

$$\frac{dv}{dt} + \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{dt} + v \frac{dv}{ds} = 1,$$

llamando v á la velocidad media en las dos secciones, z á la pendiente de la superficie entre las mismas, y representando la componente de las fuerzas dinámicas relativas á toda la sección, expresada en la suma $\sum f_s d\omega ds$ por $g\omega ds \times \varphi$, se llega á la ecuación diferencial aproximada

$$(1) \quad \frac{dz}{ds} = \frac{1}{g} \left(\frac{dv}{dt} + v \frac{dv}{ds} \right) + \varphi.$$

Resta expresar la condición de la continuidad del líquido, para lo cual bastará expresar analíticamente que la variación del volumen entre las secciones ω , ω' en el tiempo dt equivale á la diferencia entre la cantidad de agua entrada para la sección superior y la salida por la inferior en el mismo tiempo. La variación del volumen es

$$\frac{d\omega}{dt} \times ds \times dt.$$

La diferencia entre los volúmenes entrados y salidos en dt es

$$\frac{dq}{dt} dt \times ds,$$

y como ambas cantidades tienen que ser iguales y de signo contrario

$$\frac{d\omega}{dt} ds dt = - \frac{dq}{ds} dt ds$$

de donde se deduce

$$(2) \quad \frac{d\omega}{dt} + \frac{dq}{ds} = 0.$$

Las ecuaciones 1 y 2 son las que Mr. Kleitz deduce como fundamentales para el movimiento no permanente de los líquidos, y de ellas se sirve para el estudio de las condiciones con que se propagan las avenidas.

Al efecto estudia primeramente una avenida simple, llamando así á

aquella que no ha sido complicada con otras de los afluentes, y supone también que en el río no haya más que un solo cauce; en estas condiciones la avenida se eleva gradualmente desde el estado normal del río hasta el caudal máximo para decrecer después hasta el primer estado.

Si se tomase un perfil longitudinal de la superficie del agua en todo el trayecto que ocupa la avenida, la forma del perfil estaría afectada por todas las irregularidades que producirían las variables anchuras del cauce, y en consecuencia, se prestaría mal á un estudio detallado; pero si en vez de tal perfil se tomase en una localidad dada una curva en la que las abscisas representan los tiempos y las ordenadas los volúmenes de agua correspondientes, su forma más regular se prestaría mucho mejor al estudio de que se trata.

Supongamos, en consecuencia, construida una superficie

$$q = f(s, t)$$

cuyas coordenadas verticales sean los gastos y las dos horizontales sean los tiempos t y las distancias contadas en el cauce s ; el estudio de esta superficie puede revelar las principales leyes á que obedece una avenida, para cuya investigación puede emplearse el procedimiento general de cortarla sucesivamente por planos paralelos á los tres planos coordenados y estudiar después las curvas resultantes.

Cortada dicha superficie por planos paralelos á los dos ejes s, q , dará curvas que representarán el estado de toda la avenida en los tiempos t, t_1, t_2 , etc., y á estas curvas se las llama de gastos instantáneos. Si se corta por planos paralelos á las q, t , las secciones representarán el estado de la avenida en una localidad dada y reciben el nombre de curvas de gastos locales; por último, las secciones horizontales darán curvas de igual gasto, ó sea todos aquellos puntos en que la avenida tiene igual altura en las diferentes combinaciones que pueden formarse con el tiempo y la distancia.

Pueden conocerse las leyes de propagación de una avenida por medio del estudio de estas curvas, averiguando el tiempo que emplea en transmitirse de un punto á otro del río, no sólo el gasto máximo, sino todos los estados de la corriente anteriores y posteriores á él, así como la relación de magnitud que para dos puntos distintos del cauce hay entre sus máximos correspondientes y entre todos los estados intermedios de la avenida. Por este medio, y conociendo para un punto A la influencia que en la avenida han tenido obras construidas en un río en todos los estados de la corriente, podría también conocerse esta influencia en otro punto inferior B.

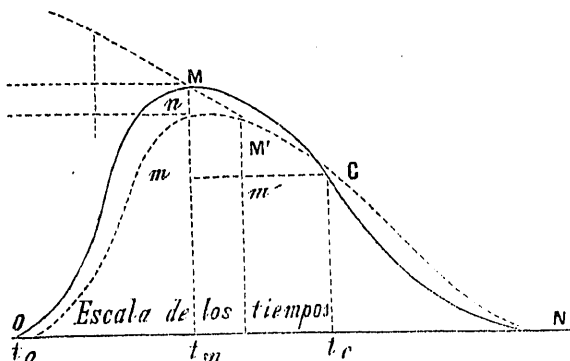
Hagamos, pues, el estudio de las diferentes secciones dadas á la super-

ficio expresada por la ecuación

$$q = f(s, t)$$

principiando por las curvas de gastos locales (fig. 5.^a). Si OMN, OM'N

(Fig. 5.^a)



representan dos curvas de gastos situadas á una distancia s , el área OMCM'O, diferencia entre OMCM'O, volumen de agua que ha pasado por la sección superior, y OM'CM'O, volumen que ha pasado por la sección inferior, será el almacenado entre las dos secciones en el tiempo t que corresponde á la distancia s ; si, pues, entre las secciones ha habido un almacenamiento de agua, por lo menos mientras la avenida crece, el gasto máximo en M' será menor que en M, y por consiguiente, éste estará más elevado que el anterior; y si en una distancia el máximo ha disminuido en una cantidad finita, en una distancia infinitamente pequeña la disminución será de este mismo orden.

Considerando, pues, las curvas como infinitamente próximas, el cociente

$$\frac{Mn}{M'n} = \text{tang. } \alpha$$

será finito, y por tanto, el punto M' estará por debajo de la tangente horizontal en M; luego estará dentro de la primera curva.

De que la relación $\frac{Mn}{M'n}$ sea finita siendo M'n infinitamente pequeño, se deduce que Mn lo es también; pero

$$mm' = mc - m'e,$$

por lo cual las cantidades mc y $m'e$ deberán ser finitas, ó lo que es lo mismo, que media un tiempo finito entre el instante del máximo de la avenida en M, y el punto de c en que las dos curvas se cortan y son iguales los gastos en las dos secciones.

Pero en este punto $\frac{dq}{ds} = 0$. Luego por la ecuación (2)

$$\frac{d\omega}{dt} = 0,$$

lo que quiere decir que en aquel momento la superficie ω , y por tanto, la altura del nivel del agua está en su máximo para la sección inferior; el gasto máximo q_m ha precedido, pues, á la sección máxima ω , correspondiente á curvas infinitamente próximas; en un tiempo finito, ó en una localidad dada, el gasto máximo precede á la sección y altura máximas.

Por otra parte,

$$\frac{dq}{dt} = \omega \frac{du}{dt} + u \frac{d\omega}{dt}$$

y como en el momento del gasto máximo en M

$$\frac{dq}{dt} = 0,$$

tendremos

$$(3) \quad \omega \frac{du}{dt} + u \frac{d\omega}{dt} = 0.$$

Para que esta ecuación pueda existir mientras ω crece ó $\frac{d\omega}{dt}$ sea positivo, $\frac{du}{dt}$ deberá ser negativo, ó sea que en el momento del máximo de q la velocidad media disminuye; por lo tanto, ha debido pasar ya por su máximo.

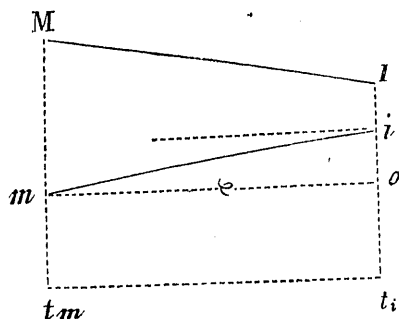
Por manera que en una sección dada no coinciden ni la velocidad, ni el gasto, ni la altura máxima de la avenida, teniendo lugar por el orden en que se han enumerado.

Para aclarar esta teoría y dar á la vez una idea de la separación de estos máximos presenta el autor un ejemplo del Loira. Las curvas MI, *mi* (figura 6.^a), representa los gastos y las secciones, y los puntos M ó *i* son los en que tienen lugar los de gasto y sección máximas, separados por el tiempo

$$x = t_i - t_m$$

que tratamos de hallar.

(Fig. 6.ª)



La distancia x es la que media entre el momento t_m en que $\frac{dq}{dt} = 0$ y el gasto llega á su máximo, del t_i en que $\frac{d\omega}{dt} = 0$, ó no aumenta ya la sección; luego si la curva mi , cuya tangente en i es horizontal, se representa por una parábola cuyo eje sea it_i , su ecuación será

$$t^2 = 2p\omega.$$

Si llamamos f á la flecha oi y θ á la mitad mo de la cuerda, y hacemos que $2p = \frac{\theta^2}{f}$ ó que el parámetro de esta curva sea $\frac{\theta^2}{f}$, tendremos

$$t^2 = \frac{\theta^2}{f} \omega$$

para la ecuación de la parábola supuesta; el valor de x que se busca es la ordenada de la curva en el punto m , para el cual $\frac{dq}{dt} = 0$; pero en dicho punto la tangente á la curva mi se obtiene diferenciando su ecuación, de donde se deduce el valor de $\frac{d\omega}{dt}$; teniendo, pues, en cuenta que

$$\frac{d\omega}{dt} = - \frac{dq}{ds};$$

que $t = x$ para el punto m ; que $\frac{\theta^2}{2f}$ es el radio de curvatura ρ de la parábola en el vértice, y llamando L á la anchura máxima de la corriente, tendremos

$$x = \frac{\rho \frac{dq}{ds}}{L}.$$

La separación, por tanto, de los dos máximos gasto y altura de las aguas viene dada por la disminución por unidad de longitud del gasto q , multiplicado por el radio de curvatura en el vértice de la curva que representa las alturas y dividido por la anchura máxima de la corriente.

Una aplicación de estas fórmulas, á la avenida de 1856 en el Loira, da para esta separación cuatro horas y treinta y dos minutos.

Si á la superficie $q = f(s, t)$ se la corta por planos paralelos al de las s , q , é infinitamente próximos, las curvas resultantes OMN O'QN' representarán el estado de la avenida en los momentos t y $t + dt$ (fig. 7^a).

En la localidad S_p el gasto correspondiente al punto P, por estar éste sobre la primera curva, ó sea la correspondiente al momento t , es PS_p ; pero está también en la segunda relativa al instante $t + dt$ y vale lo mismo; y por tanto, en la localidad S_p los gastos han permanecido constantes entre el tiempo t y el $t + dt$, luego

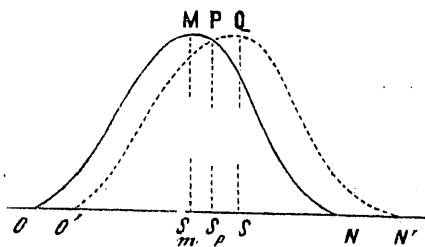
$$\frac{dq}{dt} = 0;$$

lo que quiere decir que en el instante t y en la localidad S_p el gasto indicado será el máximo que tendrá lugar. Pero en cada lugar el gasto máximo precede al de la sección, y por ello en el punto S_p y momento t no habrá

tenido lugar aún el máximo de ω ; $\frac{d\omega}{dt} = +$ y en virtud de la ecuación (2) $\frac{dq}{ds} = -$, lo que quiere decir que la tangente á la curva

MON se inclinará hacia agua abajo; la avenida decrece ya en dicho punto, y por tanto, habrá otra localidad situada más arriba en que el gasto máximo habrá sido mayor, lo que demuestra que la avenida se desvanece en su marcha.

(Fig. 7.^a)



Si, por último, la superficie de que se trata se corta por planos horizontales, la ecuación de estas curvas será

$$\frac{dq}{ds} ds + \frac{dq}{dt} dt = 0,$$

puesto que los gastos no cambian por las variaciones de s ni de t (fig. 6.^a)

Tomando en una de estas curvas la correspondiente al gasto q , dos puntos muy próximos, el gasto común q que representan se habrá verificado en dos localidades muy próximas y en tiempos próximos también; la diferencia entre ellos será el invertido en trasladarse el indicado gasto desde una localidad á otra próxima; luego el cociente de esta distancia, dividida por el tiempo correspondiente, será la velocidad del gasto q .

Pero esta velocidad viene también expresada por el coeficiente diferencial $\frac{ds}{dt}$; si, pues, la llamamos W y deducimos este coeficiente diferencial de la ecuación (4), tendremos

$$(5) \quad W = \frac{ds}{dt} = - \frac{\frac{dq}{dt}}{\frac{dq}{ds}}$$

y como $q = u\omega$ siendo u la velocidad media, de la cual

$$dq = \omega du + u d\omega$$

y además de la ecuación (2) se deduce que $\frac{dq}{ds} = - \frac{d\omega}{dt}$; se halla para la expresión de la velocidad con que en un río en avenida se trasmite el gasto q

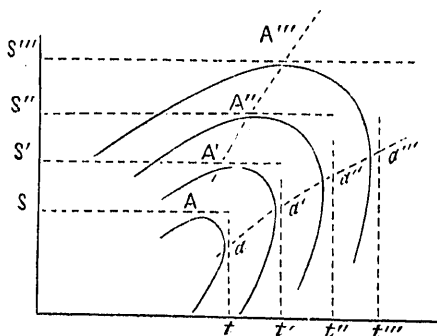
$$W = u + \frac{\omega \frac{du}{dt}}{\frac{d\omega}{dt}}.$$

Este valor de W es diferente de la velocidad media u , pues que no se trata de la traslación de una masa de agua de un punto á otro del río, sino de la producción de un mismo gasto en dos lugares diferentes.

Si las secciones horizontales dadas á la superficie $q = f(s, t)$ las proyectamos sobre el plano s, t , las alturas á que se encuentran estos planos representarán otros tantos gastos ó estados de una avenida en tiempos y lugares diferentes.

Tiremos á estas curvas (fig. 8.^a) tangentes paralelas al eje de las t y unamos los puntos de tangencia por una curva: los puntos s, s', s'' , etcé-

(Fig. 8.)



tera, serán las localidades á que llegarán, y de las que no podrán pasar los gastos $q, q', q'',$ etc., que estas curvas representan, ó lo que es lo mismo, que del gasto máximo q , que tiene lugar en el punto s , sólo podrá ser transmitido á los puntos $s', s'',$ etc., el $q', q'',$ etc., respectivamente.

La ecuación de la curva de los puntos de tangencia debe expresar que el gasto no puede ya crecer con el tiempo, y por tanto, será

$$\frac{dq}{dt} = 0.$$

Toda ella estará sobre la superficie $q = f(s, t)$ y será el lugar geométrico de los diferentes máximos que tendrá una misma avenida en puntos distintos del río.

Proyectándola sobre el plano de las s, t , su tangente tendrá por expresión general $\frac{ds}{dt}$; y esta relación expresará la medida de la distancia que separa dos lugares para los que tienen lugar los gastos máximos en tiempos que difieren en la unidad; es, por consiguiente, la medida de la velocidad con que los máximos todos diversos tienen lugar en los diferentes puntos del río.

Conocida la curva y sus tangentes, y conocida también la avenida en un punto dado, podemos hallar no sólo la altura del máximo en todos los puntos del río, sino también los momentos en que tendrán lugar en cada localidad.

La ecuación de la curva es

$$\frac{dq}{dt} = 0$$

y su tangente viene expresada por $\frac{ds}{dt}$; para obtener ésta habrá que diferenciar la ecuación anterior, y siendo la curva función de dos variables s y t , tendremos

$$\frac{d \cdot \frac{dq}{dt}}{dt} \times dt + \frac{d \cdot \frac{dq}{dt}}{ds} \times ds,$$

ó sea

$$\frac{d^2q}{dt^2} \times dt + \frac{d^2q}{dt \cdot ds} \times ds;$$

de la cual se deduce

$$\frac{ds}{dt} = - \frac{\frac{d^2q}{dt^2}}{\frac{d^2q}{ds \cdot dt}}.$$

(Se continuará.)

CARRETERAS PROVINCIALES DE BARCELONA

ESTUDIO HISTÓRICO-CRÍTICO

(Continuación.)

Inútil es decir que rechazé tales pretensiones; no así algunos diputados, que se pusieron al lado del contratista, entendiendo su misión de bien diversa manera de como yo la comprendo y negándose á que la cuestión suscitada, y otras que para molestia mía y para obligarme á la dimisión se promovieron, fuesen elevadas como propuse al dictamen del Ingeniero jefe de Obras públicas de la provincia, Inspector de las obras provinciales, según la legislación vigente.

Nada de eso; nombróse una comisión de diputados—nada entendidos en la materia—que asesorándose del *facultativo que tuvieran por conveniente*, emitiera dictamen. Vano fué pretender—como lo hice de oficio—que dicha comisión me oyese; más afortunado el contratista, leyóse por fin el dictamen en sesión pública, y en él no se sabe qué admirar más, si la ignorancia legal ó la ignorancia técnica de que se hace gala; en honor á la verdad he de decir que el asesor, aunque enemigo acérrimo del cuerpo de Ingenieros, no quiso suscribirlo, limitándose á exigir una cuenta exageradísima, 7.500 pesetas, si mal no recuerdo, por lo que siguiendo lo establecido por la ley hubiera costado á la Provincia de Barcelona 75 pesetas.

No he de seguir en el relato de lo que ha sido calificado por persona perita, de la *página más bochornosa de la Diputación provincial de Barcelona*; diré solo, aunque el lector se resista á creerlo, que al contratista del puente-viaducto le fué devuelta la fianza (contra dictamen facultativo), hecha para responder del cumplimiento de la contrata y de las cantidades abonadas de más á buena cuenta en las certificaciones mensuales, causán-