

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Comentarios sobre una fórmula de hidráulica

POR

DON MANUEL DE LA TORRE Y EGUÍA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (1).

Al tratar de determinar el gasto en un tubo de conducción se parte de la ecuación general del movimiento permanente de los líquidos y se llega á la fórmula

$$z + \frac{p}{\Pi} + \frac{U^2}{2g} = H - \frac{\chi}{\omega} \varphi(U) s \quad (2)$$

en la cual z es la ordenada de un punto cualquiera del eje del tubo y p la presión media, Π el peso específico del líquido, χ el perímetro mojado, ω la sección, s el camino recorrido por una molécula y U la velocidad.

Es la misma expresión del teorema de Bernoulli,

$$z + \frac{p}{\Pi} + \frac{U^2}{2g} = H$$

en la que H es constante y que, como es sabido, sólo se puede aplicar, aproximadamente, á los líquidos naturales en ciertos casos.

En realidad, se convierte en $z + \frac{p}{\Pi} + \frac{U^2}{2g} = F(s)$, llamando $F(s)$ á una cantidad variable con la parte de trayectoria recorrida por la molécula. En ésta $F(s) = H - \frac{\chi}{\omega} \varphi(U) s$, siendo H la altura total del plano de carga estático, $\frac{\chi}{\omega} \varphi(U) s$ es la pérdida de carga que entra en la fórmula como una altura que se resta de la total. Cuando el líquido de que se trata es agua y el punto elegido es el orificio de salida, la fórmula anterior se convierte en la conocida

$$v = \sqrt{2g \left[h - \frac{\chi}{\omega} \varphi(v) s \right]}$$

en que h es la altura de la superficie líquida sobre el punto de salida, $\frac{\chi}{\omega} \varphi(v) s$ es la pérdida de carga y $h - \frac{\chi}{\omega} \varphi(v) s$ lo que se llama altura piezométrica.

(1) Trabajo presentado al Congreso de la Asociación para el progreso de las Ciencias, verificado recientemente en Sevilla.

(2) Esta fórmula se escribe también en la forma $\frac{1}{4} D J = \varphi(U)$ para tubos circulares de diámetro constante.

Esta es la fórmula generalmente aplicada, bien en la forma anterior, bien en la otra usual $v = m \sqrt{2gh}$ sin más que hacer

$$m = \sqrt{1 - \frac{\chi}{\omega} \varphi(v) s}$$

Para determinar la función φ ó el coeficiente m se ha recurrido á la experiencia y son conocidas las fórmulas de Prony, D'Aubuisson, Darcy, Levy, Hagen, Unwin, etc. (1), así como las dificultades que hacen este problema casi irresoluble, siendo tan grandes las diferencias que se obtiene con la aplicación de las distintas fórmulas que se llega á dudar de todas y la práctica produce sorpresas desagradables en las conducciones de agua para abastecimientos y en los grandes saltos, á pesar del margen protector que se suele adoptar.

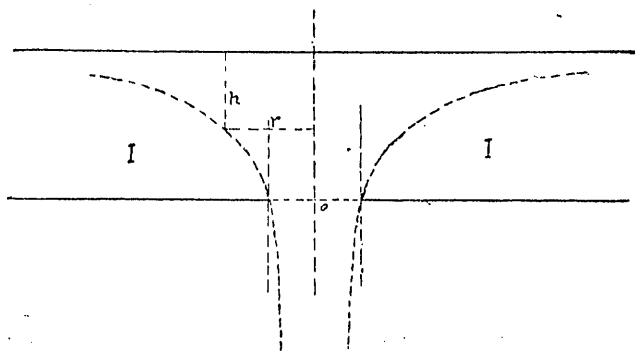
Esto procede de la diversidad de elementos que influyen en los resultados, diámetro, naturaleza, estado de pulimento y longitud de los tubos, así como de las cualidades y pureza del agua, pero, además, vamos á ver que la fórmula no representa con exactitud los hechos, porque parte de una hipótesis que no se verifica en la realidad.

En efecto, se ha deducido suponiendo que la velocidad es una función continua de la altura, lo que no es cierto, porque partiendo el tubo de un depósito que tiene una cierta altura de agua, en el punto de inserción del tubo en el depósito hay un cambio de régimen brusco que no puede realizarse sin una perturbación que altera la forma de la función. Dentro del depósito supuesto indefinido y de nivel constante podrá adaptarse el movimiento de las moléculas á una ley continua sobre la cual se ha hecho varias hipótesis, algunas como la de Boussinesq, á todas luces inexacta. Para nuestro objeto, podemos prescindir de ellas, y nos basta con hacer constar que las moléculas pueden libremente adquirir la velocidad conveniente en la extensión necesaria para conservar la ley de igualdad de gasto. Supongamos que no existe el rozamiento ni la viscosidad contentándonos con ver la posibilidad de cumplir la condición del gasto constante que en estas condiciones ficticias produciría un volumen de agua en movimiento dentro de la masa total, definido por la ecuación de igualdad del gasto que será para un orificio circular de radio r , situado en el fondo del depósito; $r^2 = \frac{A}{h^{\frac{1}{2}}}$, haciendo $A = \frac{Q}{\pi \sqrt{2g}}$ canti-

dad constante para un gasto dado (fig. 1.^a). Vemos que para $h = 0$, $r = \infty$ y para $h = \infty$, $r = 0$, es decir, que la curva genera-

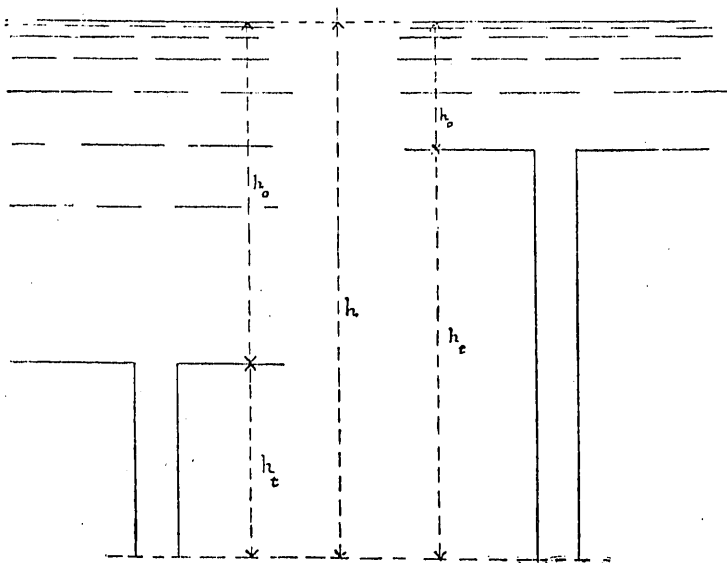
(1) Estas fórmulas son todas empíricas y muchas prescinden de la forma inicial.

triz del volumen líquido en movimiento es asintótica de la línea del nivel del agua y en sentido vertical lo es también del eje de la curva. En las condiciones supuestas y permaneciendo fijas las moléculas de la zona II la forma de la vena líquida después del orificio continuaría adaptándose a la misma curva. Las condicio-

Fig. 1.^a

nes de la realidad alteran la forma de esta función de h , pero no hacen que pierda la continuidad ni el líquido la libertad de movimiento en todo el trayecto comprendido dentro del depósito. En cambio, á partir de la inserción del tubo esta función cambia bruscamente y se convierte en una constante, puesto que lo es la sección y el caudal, ó lo que es lo mismo, la velocidad. La curva determinada antes corta en el orificio de salida con un cierto ángulo á la dirección constante de la velocidad y no se realiza el acuerdo sin una perturbación que hace del orificio una sección crítica de cambio de régimen.

El sentimiento debe bastar para hacer ver (fig. 2.^a), que aun prescindiendo de la pérdida de carga no puede ser aplicable la misma fórmula $\sqrt{2gh}$ tanto al caso de un depósito de gran profundidad y un tubo de pequeña longitud, como al de un depósito de poca altura y un tubo largo, aun cuando la suma de

Fig. 2.^a

las dos cantidades h_0 altura de agua en el depósito y h_t diferencia de altura entre la inserción y la salida del tubo sea la misma. Del mismo modo en la expresión

$$v = \sqrt{2g \left[h - \frac{\gamma}{\omega} \phi(V) s \right]}$$

no puede ser ϕ igual cualquiera que sea la relación del nivel del agua en el depósito con la longitud del tubo y el desnivel h_t .

Estas condiciones deben ser tenidas en cuenta al plantear la ecuación general para un punto del tubo, cualquiera que este

sea puesto que la velocidad es constante en toda su longitud. Las fuerzas que actúan sobre las diversas secciones del tubo suponiendo el líquido en reposo, serían al iniciarse el movimiento; en la sección situada inmediatamente debajo del orificio del depósito, el peso de la columna líquida de la altura del agua en éste; en las secciones sucesivas, la anterior más el peso de la columna líquida comprendida en el tubo y cuya altura es la distancia vertical entre el orificio y la sección de que se trata; por último, en el orificio de salida del tubo la altura toma su valor máximo h_t . Como el agua en todas las secciones de la columna líquida comprendida en el tubo lleva la misma velocidad, ésta será la media de las correspondientes á todos los puntos, ó sea la producida por la suma de todas las fuerzas parciales dividida por la longitud total h , es decir,

$$h_0 + \left(\frac{\int_0^{h_t} h dh}{h_0} \right) = h_0 + \frac{h_t}{2}$$

Luego la velocidad, prescindiendo del rozamiento y de toda clase de pérdidas de la carga, es

$$v = \sqrt{2g \left(h_0 + \frac{h_t}{2} \right)}$$

Esta fórmula debe, pues, sustituir á la usual

$$v = \sqrt{2gh}$$

siendo h la altura total.

Comparando estas dos fórmulas y las que de ellas se derivan, se ve que en la usada hasta ahora para tener en cuenta las pérdidas de carga

$$v = \sqrt{2g \left[h - \frac{\gamma}{\omega} \phi(V) s \right]}$$

se incluye en éstas el error de planteamiento de la ecuación general, y, por lo tanto, la determinación de la función ϕ se hace extremadamente difícil y sólo dan resultados aceptables las fórmulas prácticas fundadas en ella ó que la sirven de complemento conservando el mismo criterio inicial, cuando las condiciones de la realidad son análogas á las que han servido para los experimentos en cuanto á las dimensiones relativas de h_0 , h_t , ω y s .

En resumen, la fórmula modificada se convierte en

$$v = \sqrt{2g \left[h_0 + \frac{h_t}{2} - \psi(h, s) \right]}$$

En la cual $\psi(h, s)$ es probablemente de la forma $\psi'_{h_0}(h) + \psi''_{h_t}(s)$ y será posible determinar separadamente estas dos funciones.

Para aplicar la fórmula modificada es preciso realizar experiencias sistemáticas que sirvan para determinar la función ψ ó las ψ' y ψ'' y es posible que en otro trabajo se haga algunas consideraciones sobre la organización de las series de experimentos.

Canal de Isabel II.

(CONTINUACIÓN) (1)

Examinado este cuadro, vemos que el año que menos volumen de agua ha conducido el río Lozoya ha sido el año 1903, puesto que representa un volumen medio de 5.703 litros por segundo, pero teniendo en cuenta que los vertederos que se utili-

(1) Véase el núm. 2174.