

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA 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.

VELOCIDAD DEL AGUA EN LAS CONDUCCIONES

Por largo tiempo el estudio y conocimiento más ó menos perfecto de la velocidad del agua en las conducciones, cubiertas ó descubiertas, se ha retardado por la generalización de la idea errónea que conducía á considerar como correcta la fórmula dada por Chezy hace más de un siglo, que dice así:

$$v = c \sqrt{i R} \quad (1)$$

en la que v representa la velocidad del agua, i la pendiente, R el radio medio ó hidráulico (cociente de la sección por el perímetro mojado), y, finalmente, c un coeficiente considerado como constante.

La inexactitud de esta fórmula nace de que el coeficiente c no es realmente constante, sino función de la aspereza ó rugosidad del tubo ó canal por donde circula el agua, de su inclinación y del radio medio ó hidráulico.

Las variaciones de c , siendo considerables, hacen demasiado errónea la aproximación conseguida con esta fórmula, y decimos demasiado, porque en ésta como en otras muchas cuestiones de ingeniería, es imposible conseguir la exactitud matemática á que se debe aspirar en puro análisis y no tenemos más remedio que contentarnos con obtener la solución con un cierto grado de aproximación, variable, según los casos.

Kutter, Ingeniero suizo, trató de calcular el coeficiente c de la fórmula de Chezy, y para ello nos dió á su vez la siguiente:

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left[23 + \frac{0,00155}{i} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (2)$$

en la que vemos que el valor de c es función de otro cierto coeficiente de rugosidad n , de la inclinación ó pendiente i y del radio medio R .

Con un mismo grado de rugosidad el valor de c crece con el radio medio y con la inclinación.

Esto es debido á que los exponentes á que vienen elevadas aquellas cantidades en la fórmula (1) son menores que los verdaderos.

Si dichos exponentes estuvieran en armonía con los hechos de la práctica, las variaciones en el valor de c serian menores, y si se pudiera determinarlos exactamente en consonancia con los casos prácticos, c sólo sería función de la aspereza y para

cada estado de ésta sería realmente constante. El resultado de todo esto, era que los cálculos se hacían valiéndose de datos que en gran parte dependían del criterio del Ingeniero que ejecuta el trabajo.

Esto nos recuerda la manera que se vendió en una fábrica hierro viejo en montón y que consistió en que cada empleado dijera á ojo el peso que asignaba al mismo, y luego se tomó como peso de venta la media de los resultados así obtenidos.

Que estos últimos años, Ingenieros americanos, á la cabeza de los que figuran Fennell y Tutton, provistos de suficiente atrevimiento científico, lanzaron la idea de que la fórmula ideada por Chezy era inexacta, obteniéndose como resultado de sus estudios la necesidad de una modificación en el valor de los exponentes de las variables i y R , ya mencionadas.

Los Ingenieros Williams y Hazen, estudiando la cuestión desde este nuevo punto de vista, han elegido coeficientes y exponentes que están más acordes con los resultados de la experiencia, habiendo coleccionado y dispuesto en tablas los resultados obtenidos por ellos referentes á la velocidad del agua en tubos y canales.

La fórmula modificada por dichos Ingenieros, dice así:

$$v = c . R^{0,63} i^{0,54} 0,001^{0,04} \quad (3)$$

que comparándola con la de Chezy, nos dice que los exponentes de R é i , que en ésta eran iguales á $\frac{1}{2} = 0,50$, se han aumentado á 0,63 y 0,54, respectivamente.

Otras muchas fórmulas se han propuesto para reemplazar á la de Chezy, pero su uso ha sido muy limitado por la dificultad de los cálculos á que conducen cuando se hace aplicación de ellas.

Esto desaparece para la fórmula (3), valiéndose de la regla hidráulica, sencilla modificación de la regla de cálculo para hacerla adaptable á la fórmula de Williams y Hazen, y por medio de la cual los cálculos se hacen con gran rapidez, al mismo tiempo que se obtiene una gran exactitud en los mismos.

Como indicábamos antes, si pudiéramos determinar los exponentes de modo que sus valores fueran consecuencias exactas de resultados prácticos, el coeficiente c sería función solamente de la aspereza é independiente del radio hidráulico é inclinación, siendo para cada clase de material realmente constante.

Esto no se puede conseguir actualmente, porque los valores de los exponentes varían con las diferentes clases de superficies y con la mayor ó menor amplitud de los diámetros é inclinaciones de las conducciones.

Puesta la cuestión en este estado, los exponentes se han ele-

gido representando aproximadamente condiciones medias, de tal modo, que el valor de c , para un caso dado, varíase sumamente poco, y, por tanto, podemos ya considerarlo como constante; habiéndose deducido dicho coeficiente de las series más notables de experiencias acerca de la velocidad del agua en tubos y canales, hechas en condiciones idénticas á las que se encuentran los trabajos hidráulicos.

El último término que figura en la fórmula (3) es constante 0,001 0,04, lo introdujeron sus autores para aproximar en lo posible el valor de c al de la fórmula de Chezy y otras también usadas en las que la pérdida de carga de inclinación viene expresada en milésimas, en lugar de hacerlo en unidades de la misma especie que las longitudinales, ó sea en metros por metro lineal.

En la fórmula (3) las unidades son inglesas, á saber: la velocidad v y el radio medio R vienen evaluadas en pies (1 pie = 0,305 m.) y la inclinación i en pies de altura por pie de longitud.

La fórmula así presentada no tiene utilidad práctica para nosotros que usamos el sistema métrico, y por tanto, es necesario hacer el cambio de unidades, con lo cual, y una vez hechas todas las reducciones, la simplificada dice así:

$$v = c_1 R^{0,63} i^{0,54} \quad (4)$$

estando evaluadas v y R en metros, i en metros por metro, y siendo $c_1 = c \times 0,85$ (5), donde c es el coeficiente de la primitiva fórmula de Williams y Hazen en unidades inglesas.

En las tablas calculadas por estos Ingenieros para facilitar el uso de su fórmula, han elegido diversos valores para el coeficiente c , pues con facilidad se comprende que los tubos empleados en las construcciones, siendo de materiales diversos, les corresponderá á cada uno un valor distinto.

Las tablas son de doble entrada, figurando en los encabezamientos de las dos primeras columnas el gasto por 1" y el correspondiente á veinticuatro horas del tubo que se considera, y en las columnas siguientes los valores de c es inferiormente la pérdida de carga correspondiente á cada gasto.

En primer lugar aparecen dos columnas con los valores $c = 140$ ($c_1 = 120$) (1) y $c = 130$ ($c_1 = 110$), y á continuación otras con los valores siguientes de c : $c = 120$ ($c_1 = 100$), $c = 100$, ($c_1 = 85$), $c = 80$ ($c_1 = 70$), $c = 60$ ($c_1 = 50$) y $c = 40$ ($c_1 = 34$).

De este modo ya se sabe al hacer uso de las tablas á qué columna dirigirse.

La disposición usada de tablas nos permite expresar en números el estudio de un fenómeno muy común en las conducciones, pero difícil de calcularlo.

Nos referimos al aumento gradual de la aspereza de las superficies en contacto con el agua, y al estrechamiento de la sección por las circunstancias ó oscilaciones que nos dan en definitiva por resultado un aumento considerable en la pérdida de carga ó disminución en el caudal suministrado por la conducción.

En términos generales, decimos que al cabo de un cierto número de años, no grande, comparado con la vida total del tubo, el aumento de la aspereza de la superficie y el estrechamiento de la sección aumentan hasta duplicar la pérdida de carga que se tenía cuando la conducción está recién puesta.

Esto es lo que aparece en algunas tablas hidráulicas basadas en la fórmula de Darcy; en una primera columna figura la pérdida de carga cuando el tubo es nuevo, y en una segunda, la que corresponde al tubo ya en uso, aparece un número doble que el primero.

Estudiaremos nosotros la cuestión desde otro punto de vista, pues el anterior tiene el inconveniente que es muy difícil dar adecuadamente la solución, pues no hay dos tubos de distintas

conducciones que está en iguales condiciones, y, por tanto, sólo pueden darse términos medios que distarán mucho de los casos particulares que puedan presentarse.

Para conseguir el objeto propuesto, se añaden á las columnas anteriormente mencionadas y que comprenden á distintos valores de c , números que empezando desde 0 indiquen el número de años que lleva en uso la conducción.

En la primera columna no hay indicación de ningún género, pues se trata de casos verdaderamente excepcionales, fundiciones de condiciones inmejorables y tubos colocados en línea recta, caso que, como decimos, rara vez se presenta en la práctica; en la segunda aparece un 0 correspondiendo á fundiciones ordinarias y tubos puestos en condiciones normales recién colocados; en la tercera, cuarta, etc., etc., aparecen los números 5, 10, 17, etc., etc., que nos dan la indicación anteriormente mencionada.

Así dispuestas las tablas, nos sirven para un doble objeto, á saber: cálculo de la pérdida de carga y del aumento sucesivo de la misma, dato de importancia suma, pues nos interesa mucho conocer la cantidad de agua que podrá suministrar la conducción al cabo de cierto número de años, pues sabido es el decrecimiento que experimenta la potencia de abastecimiento de la misma con el tiempo.

Los números á que nos referimos son aproximaciones, basadas en datos que se han deducido de aquellos casos en que se trata de aguas claras y suaves de ríos que no estén filtradas.

Las turbias duras y de lagos son más inscrustantes y, por tanto, los números que las corresponden son mayores, llegando-se en algunos casos á duplicar los que aparecen en las tablas.

Otras aguas corroen el material, le atacan más ó menos rápidamente, roñan á la fundición ó al palastro y los números á que nos referimos se alcanzan también en menor número de años de los que figuran en las tablas.

Si hay divergencia en esta cuestión en los tubos de gran diámetro, mayor aun es la que aparece en los de pequeño para los distintos materiales y aguas.

Los tubos de palastro se incrustan y se corroen más que los de fundición, y á consecuencias de las juntas y roblenado es menor el coeficiente de seguridad.

Para estos tubos, los resultados de la práctica asignan á c un valor igual á 110 ($c_1 = 93,5$) cuando se trata de uno nuevo y este valor se reduce á $c = 100$ ($c_1 = 85$) al cabo diez años.

Para los que llevan colocados más tiempo, podemos indicar como una buena regla práctica que conducirán la misma cantidad de agua que otro fundido que lleve en servicio diez años más suponiendo que la pérdida de carga sea igual en los dos casos.

Para concluir con lo referente á conducciones cubiertas, daremos algunos números relativos á valores del coeficiente (c_1) que varía con los distintos materiales.

Para casos excepcionales de tubos fundidos $c = 140$ ($c_1 = 120$) pero en las fundiciones y condiciones ordinarias se reduce á $c = 130$ ($c_1 = 110$). Para tubos de palastro un valor aceptable de c es igual á 110 ($c_1 = 93,5$).

Si queremos tener en cuenta la reducción de dichos coeficientes pasado un cierto número de años, dato interesante, no convendrá excederse de los valores $c = 100$ ($c_1 = 85$) y $c = 96$ ($c_1 = 80$) respectivamente.

Para el plomo, latón, cobre, estaño y materiales que presenten superficies más alisadas $c = 140$ ($c_1 = 120$) es un valor recomendable, bien entendido que un pequeño aumento en la aspereza reduce ese valor á $c = 130$ ($c_1 = 110$).

Para tubos de madera $c = 120$ ($c_1 = 100$) es un buen valor.

Para superficies de fábrica de mampostería bien enlucidas y alisadas $c = 140$ ($c_1 = 120$).

En cuanto dichas superficies se recubren de légamo el c baja á 130 ($c_1 = 110$) y si las superficies se presentan menos lisas, como sucede ordinariamente, $c = 120$ ($c_1 = 100$) unido este valor admisible como bueno durante bastante tiempo en esta clase de obras.

(1) Al lado de cada valor de c en unidades inglesas hemos colocado el de $c_1 = c \times 0,85$ en unidades métricas, que son los que interesan en particular. Esta observación es extensiva á todo lo que sigue.

Para fábricas de ladrillo c se toma igual á 100 ($c_1 = 85$) y para tubos de grés y barro $c = 110$ ($c_1 = 93,5$).

La fórmula anteriormente considerada que ha servido para calcular la velocidad del agua en las conducciones cubiertas se aplica á las descubiertas (canales, acequias, etc.), habiéndose hecho uso de la regla hidráulica para estas aplicaciones.

Una serie de datos presentados en forma de cuadros sirven para utilizarlos en los casos ordinarios de la práctica, deducidas de las experiencias más precisas de velocidad del agua en los canales, y de los cuales el Ingeniero elegirá el valor particular en cada caso, pudiendo determinar de este modo la probable exactitud que obtendrá en el que se considera.

No se calculan tablas que se correspondan con las de las conducciones cubiertas, pues la variabilidad de condiciones de profundidad, anchura, inclinación y naturaleza de las paredes es tan grande, que no hay otro recurso más que aplicar la fórmula en cada caso, calculándola bien por logaritmos ó por la regla hidráulica.

Con esto finalizamos este artículo, cuyo objeto no ha sido otro que el de señalar los nuevos derroteros por los que sigue la determinación de la velocidad del agua en las conducciones.

FERNANDO ALONSO URQUIJO.
Ingeniero de Caminos.

INFLUENCIA DE LA DESTRUCCIÓN DE LOS BOSQUES Y DE LA DESECACIÓN DE LAS LAGUNAS EN EL RÉGIMEN Y CAUDAL DE LOS RÍOS

(CONTINUACIÓN)

III

La tercera cuestión, constituye, en realidad, un caso especial de una cuestión más general: «la influencia de la cubierta del terreno en la formación de manantiales, etc.» Es esta cuestión, de todas las estudiadas, la más antigua, la que se remonta á épocas más lejanas, donde constituyó ya una materia de grandísimo interés. Los pueblos más antiguos veían en cada fuente una divinidad, á la que dedicaban templos y altares; y consideraban como sagrados é intangibles los bosques que las alimentaban. Esta clara intuición de la realidad, nacida de una religión que tenía sus raíces en el culto á la Naturaleza, fué la primera afirmación del lazo indisoluble que une los bosques á las fuentes, y que ha llegado hasta nuestros días como un principio indiscutible. Más recientemente, la ciencia y la observación directa han plenamente confirmado la existencia de este lazo, salvo casos especiales, según se irá viendo al examinar las Memorias presentadas.

Creemos casi innecesario indicar las razones físicas por las cuales los bosques, y más generalmente el estado de la capa del suelo, pueden favorecer la formación y la permanencia de los manantiales. Se sabe que del volumen total de las aguas meteoricas que caen sobre la tierra, una parte vuelve á la atmósfera, otra penetra en el subsuelo hasta que una capa impermeable la hace reaparecer bajo forma de manantial, y el resto corre por la superficie de la tierra constituyendo los arroyos, los torrentes y los ríos que la surcan. Es, por tanto, evidente que todo lo que pueda favorecer el fenómeno de la absorción por el subsuelo debe acrecentar la potencia de los manantiales y su permanencia, y así, para una roca dada, cuyo coeficiente de permeabilidad sea conocido, la absorción crecerá proporcionalmente á la duración del contacto entre la roca y la capa de agua que se encuentre por encima. Ahora bien, es indudable que la cubierta que constituye un bosque coopera grandemente y más que toda otra á prolongar aquel contacto, porque el follaje

de sus árboles constituye un depósito de agua que se vierte lentamente sobre el suelo durante un período de tiempo mucho más largo que el que corresponde á la lluvia, porque la capa de humus y el césped que tapizan el suelo se impregnan de un gran volumen de agua, que desciende lentamente y no se agota sino después de un largo período de tiempo; porque las aguas superficiales descienden en capas que cubren toda la superficie, en lugar de reunirse en arroyuelos como en los terrenos no defendidos por las raíces; y, finalmente, porque en los bosques hay más humedad y una temperatura más baja que en los terrenos descubiertos y las nieves se detienen y conservan más largo tiempo.

Á estas causas físicas es necesario añadir todavía la acción mecánica de las raíces que hienden el terreno subyacente y sirven á las aguas de verdaderos canales. Esta técnica de los manantiales es admitida y explicada en todas las Memorias con algunas observaciones y excepciones que se indicarán brevemente.

El Ingeniero Ponti, por ejemplo, hace una radical distinción entre los terrenos permeables y los impermeables. Admite para éstos la acción bienhechora de los bosques por las razones indicadas, pero sostiene que esta acción es perjudicial para los terrenos muy permeables, como, por ejemplo, las calizas descompuestas y porosas, puesto que la capa de humus que tapiza los terrenos cubiertos de bosque, oponiendo una cierta resistencia á la absorción inmediata de la lluvia, acrecienta el volumen de las aguas superficiales á expensas de las aguas subterráneas.

M. Keller reconoce igualmente que en los terrenos enteramente permeables, los bosques aumentan el caudal superficial y disminuyen la absorción del subsuelo, pero juzga que esto es ventajoso, puesto que de otro modo las mesetas y llanos veríanse privados de agua, y la lluvia, lejos de producir este beneficio, formaría, filtrándose por las grietas del terreno, verdaderos ríos subterráneos que irían á desaguar al mar ó aparecerían en el fondo de los más bajos valles donde ya no podrían tener utilización alguna.

Otro reproche que se hace á los bosques (Keller, Ponti y otros), es la cantidad importante de agua que, como ya se ha dicho antes, absorben del terreno de lo que puede resultar un déficit en el volumen de las aguas de los pozos. En esta cuestión M. Keller va más lejos; clasifica la cubierta del suelo en tres categorías: forestal, arable y praderable, y dice que, en efecto, la forestal favorece la absorción más que la arable y ésta más que la praderable, pero que si se tiene en cuenta la más fuerte cantidad de agua que el bosque toma del terreno para alimentar su mucha vegetación, se deduce que el terreno arable debe ser considerado como más favorable para el almacenamiento de aguas subterráneas que el terreno forestal; y añade, que allí donde se encuentran, como en el Asia menor y en muchas provincias de la Italia meridional, territorios, antes ricos y florecientes, transformados en landas desiertas y áridas, no es debido precisamente al hecho de haber sustituido los bosques por terrenos arables, sino más bien al abandono de la agricultura, á consecuencia de las guerras que han obligado á los colonos á abandonar el cultivo de la tierra y los trabajos que servían para mantenerla en su integridad.

Esta observación de M. Keller, es de la mayor importancia desde el punto de vista legislativo, puesto que conduce á la conclusión, que allí donde es posible conservar el terreno con su cubierta de tierra laborable—sea naturalmente, por consecuencia de su altitud, sea por trabajos apropiados—, se podrá ventajosamente permitir la destrucción del bosque, aun desde el punto de vista hidráulico. La verdad es, que el mismo M. Keller previene que es necesario ser prudente en esto, porque si por un abandono en el sostenimiento y defensa del terreno, éste se destruyera y esterilizaba, como en las localidades arriba citadas, la obra de repoblación es muy difícil y excesivamente larga y costosa, y el perjuicio sería grande.

Contra las opiniones arriba indicadas se elevan los defensores de los bosques, y entre ellos Mr. Lafosse, alegando que el