

LA RAUDA LINFA

Por **LUIS TORRENT RODRIGUEZ**

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se presenta una fórmula hidráulica simplificada para el cálculo de tuberías en carga, que por su sencillez de manejo puede hacer interesante su aplicación en circunstancias determinadas.

Rauda linfa que brota desde tosco atañor buscando cielo, ya su tersura rota trueca líquido velo, y en fulgurantes gemas torna al suelo.

Rompiendo papeles viejos, borradores y cálculos preparatorios de trabajos que sólo en una pequeña parte llegaron a término, tropecé con una curiosa fórmula hidráulica para tuberías en carga, que reza así:

$$V = M Q^n i^t \dots\dots\dots (1)$$

Mediante cálculos con expresiones que, en el borrador, se calificaban de «exactas» (*) se obtiene la tabulación de coeficientes y exponentes del siguiente cuadro:

Ks	M	n	t
0,0050	22,886	0,242	0,417
0,0125	21,706	0,240	0,410
0,025	20,750	0,239	0,405
0,05	19,744	0,237	0,400
0,10	18,688	0,236	0,395
0,15	18,048	0,236	0,393
0,25	17,218	0,235	0,390
0,50	16,052	0,234	0,386
0,75	15,349	0,234	0,385
1,0	14,840	0,234	0,383
1,5	14,110	0,234	0,382
2,0	13,583	0,234	0,381
2,5	13,168	0,234	0,381

(Ks es la rugosidad, equivalente de arena, de Nikuradse, expresada en mm).

(*) Valores de B, b y c establecidos por el autor en el artículo «Comentarios a la Instrucción para tubos de hormigón armado o pretensado». R.O.P. enero de 1984, para la fórmula $V = B d^b i^c$

En el gráfico adjunto se refleja la variación de estos parámetros, en función de Ks. La substitución de la curva correspondiente a M por su cuerda, en el intervalo considerado, lleva a:

$$M = 14,84 - 3,65 \log Ks \dots\dots\dots (2)$$

La variación de n y t es pequeña en ese entorno, lo que induce a tomar, para cada uno de los exponentes, su valor medio: 0,235 y 0,39, respectivamente. Con ello se llega a una expresión general aproximada.

$$V = M Q^{0,235} i^{0,39} \dots\dots\dots (3)$$

cuyas unidades son el m/s y el m³/s, con la i en tanto por uno y con los valores de M dados por la fórmula (2).

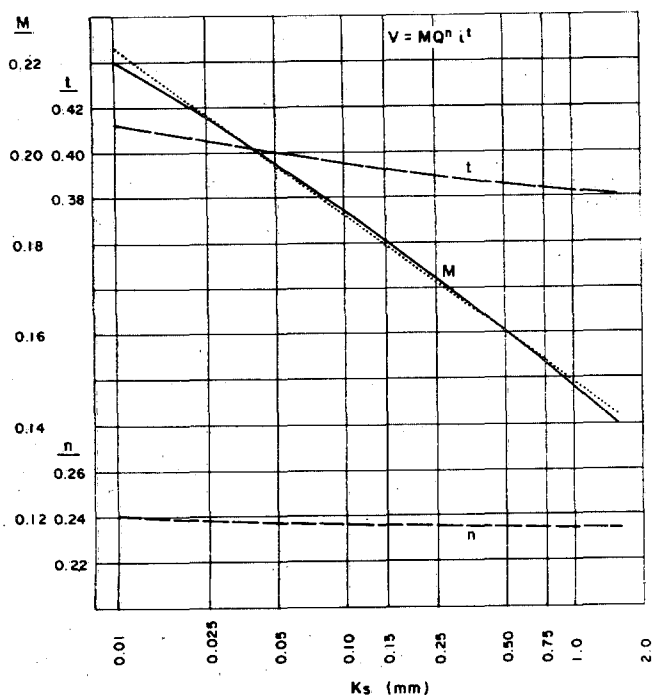
La fórmula resulta un tanto sorprendente en algunos aspectos: en primer lugar, llama la atención que la velocidad del flujo sea proporcional a la potencia 0,39 de la pendiente; también es extraño que no aparezcan en la expresión las dimensiones de la tubería o el famoso radio hidráulico del conducto. Pero, evidentemente, se trata sólo de una apariencia, pues basta con substituir.

$$Q = 1/4 \pi d^2 \times V$$

para que quede explícita la dimensión del tubo y para que el exponente de V resulte, aproximadamente, el doble del de la pendiente, como debe ser en todo régimen turbulento que se precie de tal.

La fórmula (1) es, por tanto, una expresión hidráulica deceptoria (*) desde el punto de vista conceptual.

(*) La Real Academia no ha admitido todavía el anglicismo «deceptivo».



plean habitualmente?. Realmente, no parece que venga a llenar una necesidad de los calculistas de tuberías; pero quizá sea útil en alguna circunstancia.

Por ejemplo: en una conducción de un abastecimiento, que dispone de una pendiente media del 0,8 por mil, se desea conocer el caudal circulante, con la condición de que la velocidad del agua no supere 0,8 m/s, para evitar problemas de sobrepresiones accidentales.

La fórmula quedará así:

$$0,8 = M Q^n \times 0,0008^t$$

Si la tubería tuviera una rugosidad de 0,0125 mm (tubos de amianto-cemento):

$$0,8 = 21,706 \times Q^{0,24} \times 0,0008^{0,41}$$

de donde se obtiene el caudal $Q = 0,207 \text{ m}^3/\text{s}$ y, a partir de él, el diámetro del tubo, $d = 0,575 \text{ m}$.

Si se hubiera aplicado la fórmula habitual de tuberías, particularizada para el fibrocemento (*).

$$V = 53,1 d^{0,631} i^{0,539}$$

se habría obtenido previamente el diámetro y después el caudal $Q = 0,206 \text{ m}^3/\text{s}$.

Es, pues, cierto que la nueva fórmula contesta antes que las habituales al problema planteado; lo que no parece tan cierto es que valga la pena tomar este atajo porque, al fin el proyectista tendrá que volver al camino tradicional: como no va a prescribir tubos de 0,75 m de diámetro, recurrirá a la dimensión comercial inmediatamente superior, a la tubería de 600 mm; luego calculará la velocidad que resulte, aunque sobrepase algo a la prevista, y el correspondiente caudal, que ya no será de 207, sino de 233 l/s.

Tal vez la fórmula sea más útil cuando se plantea el problema hidráulico inverso: dada la pendiente disponible y el caudal que se desea trasvasar, la velocidad del flujo viene determinada por la calidad del revestimiento interno del tubo. Así, con una pendiente de una milésima y un caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, en un conducto de muy poca rugosidad se alcanza una velocidad de 1,28 m/s, a la que corresponde un diáme-

La fórmula (3) es doblemente engañosa, no sólo porque proviene de la primera, sino también porque no resulta suficientemente precisa en su aplicación, a pesar de que las diferencias de exponentes y coeficientes sean muy pequeñas respecto a los valores promediados, como se aprecia en el gráfico.

Si, por ejemplo, hacemos

$$i^t = \frac{1}{M}$$

para que quede $V = Q^n$, las pendientes, partiendo de los valores tabulados y de la fórmula «aproximada», son, en milésimas, las siguientes:

$K_s = 0,025$	$i_1 = 0,560$	$i_2 = 0,423$
$K_s = 0,10$	$i_1 = 0,604$	$i_2 = 0,564$
$K_s = 0,50$	$i_1 = 0,753$	$i_2 = 0,826$
$K_s = 1,00$	$i_1 = 0,874$	$i_2 = 0,991$

Las diferencias son en menos para tubos de baja rugosidad, y en más para los fuertemente rugosos. La fórmula (3) será válida sólo para valores intermedios de K_s , o bien para un primer tanteo de la conducción; mientras que, para cálculos afinados, habrá que recurrir a los parámetros del cuadro o a las curvas del gráfico.

¿Qué ventajas puede tener una fórmula de estas características respecto a las que se em-

(*) Vid. «Entre el sosiego y la turbulencia» R.O.P. Julio de 1979.

tro de 1 m; mientras que un revestimiento de hormigón basto dará 1,05 m/s de velocidad, con 1,10 de diámetro, lo que puede ser preferible, en algún caso.

La paternidad de la expresión hidráulica comentada en estas notas, debe ser tan inconcreta como la de la sopa de ajo, pues es tan elemental que, con toda seguridad, habrán sido muchos los técnicos que la hayan analizado (y, si no la han publicado, será por considerarla de dudosa utilidad). El cuadro y el gráfico para la aplicación de la fórmula son originales y, como previamente se indica, provienen de otros trabajos del autor, al que, llegado a este punto, sólo le resta pedir benevolencia por el pobre fruto que ha ofrecido al lector de este artículo.

(También debe aclarar que los versos que encabezan estas notas son una descripción culterana de la fuga de agua de una tubería).

Luis Torrent Rodríguez



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, promoción de 1950. Es Jefe del Servicio de Vigilancia de Presas del MOPU. En el INI (1956-1965) proyectó, bajo la dirección del Profesor Vallarino, los saltos del Cinca, central de grado I; chimeneas de San Sebastián, grado II; presas de Pías y Cubillos, embalse de Aumendrá, etc. Desde 1965 en el MOP, colaboró en el proyecto de abastecimiento a Madrid por bombeo desde el Alberche (AMSO) y dirigió las obras del tramo I (Elevación Reversible de Altomira) del trasvase Tajo-Segura. Fuera del país ha diseñado la chimenea del salto de Valdesia (República Dominicana) y dirigido el proyecto de centrales de bombeo del acueducto de Santa Elena (Ecuador), dictando en Guayaquil un curso sobre canales. Asiduo colaborador de esta Revista, sus publicaciones versan sobre hidráulica de conducciones, chimeneas de equilibrio, instalaciones de bombeo, etc., son esporádicas incursiones de «divertimento» en otros campos.

