CRÓNICA

Estudio comparativo de las fórmulas para el cálculo de las cañerías— (De los *Annales des Travaux Public de Belgique.)*

M. Dariès, injeniero municipal de Paris, publica un estudio comparativo de las fórmulas que se han propuesto para espresar la resistencia que oponen las paredes de los tubos al escurrimiento del agua.

Si D representa el diámetro del tubo, I la pérdida de carga por unidad de lonjitud i U la velocidad media del escurrimiento, se tiene la relacion fundamental

$$\frac{\mathrm{D\,I}}{4} = \phi\,(\mathrm{U})$$

Para $\phi\,(U)$ antiguamente se adoptaban espresiones que implícitamente admitian que la resistencia de las paredes era independiente del diámetro del tubo i del estado de rugosidad de sus paredes interiores.

Las esperiencias posteriores han demostrado lo erróneo de esa hipótesis, lo que ha hecho caer en desuso tales fórmulas, entre las cuales las siguientes son las mas conocidas:

AUTOR	Fecha	ϕ (U)	Coeficientes
Prony	1804	$\mathrm{a\,U + b\,U^2}$	$\begin{cases} \mathrm{a} = 0{,}000017 \\ \mathrm{b} = 0{,}000348 \end{cases}$
Saint-Venant	1840	$0{,}000\sqrt[7]{\mathrm{U}^{12}}$	......
Dupuit	1855	$0{,}0004\ \mathrm{U}^2$	......
Weisbach	1860	$\left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{\mathrm{U}}}\right)\mathrm{U}^2$	$\begin{cases} \alpha = 0{,}0007336 \\ \beta = 0{,}0004828 \end{cases}$
Colombo	1868	$0{,}00035\ \mathrm{U}^2$	......

Las fórmulas recientes toman todas el valor del diámetro en los parámetros de la funcion $\phi\,(U)$ i muchos de ellos hacen variar esos parámetros con el grado de rugosidad de las paredes.

Las principales de estas fórmulas son las siguientes:

NOMBRE DEL AUTOR	Fecha	ϕ (U)	Valores de los coeficientes
a) *Fórmulas francesas*			
Darcy	1862	$\left(\alpha + \frac{\beta}{D}\right) U^2$	Tubos nuevos....... $\begin{cases} \alpha = 0{,}0002535 \\ \beta = 0{,}00000647 \end{cases}$ Tubos incrustados. $\begin{cases} \alpha = 0{,}000507 \\ \beta = 0{,}00001294 \end{cases}$
Hagen......	1866	$\frac{\alpha}{D} U + \beta U^2$	......
Lévy...............	1868	$\frac{\alpha}{1+3\sqrt{R}} U^2$	$\alpha = 0{,}00119$
Flamant.......	1892	$\alpha \sqrt[4]{\frac{U^7}{D}}$	$\alpha = 0{,}00023$
b) *Fórmulas inglesas*			
Franck	1881	$\left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{D}}\right) U^2$	$\begin{cases} \alpha = 0{,}000512 \\ \beta = 0{,}000385 \end{cases}$
Unwin i Reynolds.......	1882	$\frac{a\,U^n}{D^{3-n}}$	n crece desde 1.79 a 2, segun el grado de rusgosidad de las paredes.
Manning............	1884	$\frac{a\,U^2}{\sqrt[3]{D}}$	$\alpha = 0{,}0002$
Lampe.....	1885	$\frac{a\,U^{\frac{9}{5}}}{\sqrt[4]{D}}$	$\alpha = 0{,}00019$
Thrupp....	1887	$\frac{a\,U^n}{D^{(0{,}6116\,n-1)}}$	n crece desde 1.70 a 2, con el grado de rusgosidad de las paredes.
c) *Fórmulas alemanas*			
Kutter.....................	1869	$\left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{D}} + \frac{\gamma}{D}\right) U^2$	......

Otras fórmulas son mas complicadas, como las de Gauckler:

$$\sqrt{U} + \frac{1}{4} D \sqrt[4]{U} = 6 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{I};$$

o la de Geslain:

$$U = (0,96 + 0,24\, n)\, D^{\frac{3}{4} \quad \frac{n}{10}}\, I^{\frac{1}{2} + \frac{n}{20}}$$

Para comparar entre sí i con los datos de la esperiencia los resultados que dan todas estas formas de la funcion $\phi\,(U)$, es mas práctico de ligar la pérdida de carga con el gasto, eliminando a U entre las relaciones.

$$\frac{1}{4} D\, I = \phi(U) \quad \text{i} \quad Q = \frac{\pi D^2}{4} . U$$

Se tiene así, segun M. Dariès, para las fórmulas mas empleadas que hemos citado:

AUTOR	Relacion entre I, Q, D	
Prony	$I = 0,000088 \frac{Q}{D^3} + 0,00226 \frac{Q^2}{D^5}$	.....
Dupuit......	$I = 0,00250 \frac{Q^2}{D^5}$	Paredes incrustadas
Colombo.....	$I = 0,00243 \frac{Q^2}{D^5}$	......
Darcy	$I = \left(\frac{0,001643}{D^5} + \frac{0,0000419}{D^6} \right) Q^2$ $I = \left(\frac{0,003286}{D^5} + \frac{0,0000838}{D^6} \right) Q^2$	Paredes lisas Paredes incrustadas
Manning....	$I = 0,00133 \frac{Q^2}{D^{5,33}}$	......
Lévy	$I = 0,00242 \frac{Q^2}{D^{5,33}}$	......
Flamant....	$I = 0,00140 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$	......

AUTOR	Relacion entre I Q, D	
Geslain......	$I = 0{,}00115 \frac{Q^2}{D^{5,30}}$	Paredes lisas.
	$I = 0{,}00135 \frac{Q^2}{D^{5,36}}$	» nuevas.
	$I = 0{,}00155 \frac{Q^2}{D^{5,43}}$	» poco incrustadas.
	$I = 0{,}00175 \frac{Q^2}{D^{5,50}}$	» mui incrustadas.
Unwin i Reynolds..	$I = 0{,}00108 \frac{Q^{1,80}}{D^{4,80}}$	» lisas.
	$I = 0{,}00146 \frac{Q^{1,85}}{D^{4,85}}$	» nuevas.
	$I = 0{,}00196 \frac{Q^{1,90}}{D^{4,90}}$	» poco incrustadas.
	$I = 0{,}00264 \frac{Q^{1,95}}{D^{4,95}}$	» incrustadas.
	$I = 0{,}00355 \frac{Q^2}{D^5}$	» mui incrustadas.
Thrupp i Robinson..	$I = 0{,}0013 \frac{Q^{1,85}}{D^{4,94}}$	» poco incrustadas.
Kutter.......	$I = \left(\frac{0{,}000648}{D^5} + \frac{0{,}000389}{D^{5,50}} + \frac{0{,}0000584}{D^6}\right)Q^2$	» nuevas.
	$I = \left(\frac{0{,}000648}{D^5} + \frac{0{,}000648}{D^{5,50}} + \frac{0{,}0001621}{D^6}\right)Q^2$	» incrustadas.

Entre estas numerosas fórmulas, es estremadamente difícil señalar reglas que sirvan de guia para hacer una eleccion. M. Dariès, ha comparado los resultados obtenidos con esas fórmulas con los suministrados por la esperiencia. Esas comparaciones, completadas por los *Annales des travaux publics de Belgique*, se encuentran indicadas en el cuadro siguiente, que da los gastos *calculados* segun las diversas fórmulas para los diámetros i pérdida de carga que encabezan las columnas. Al principio de cada columna se halla tambien indicado con la letra Q_e el gasto *esperimental* respectivo.

	A	B	C
	D = 1,75 m. I = 0,001 — Q_e = 3 m.3	D = 1,22 m. I = 0,002 — Q_e = 1,533 m.3	D = 0,533 I = 0,00151 — Q_e = 0,198 m.3
	m.3	m.3	m.3
Prony	2,650	1,534	0,164
Dupuit	2,560	1,475	0,161
Colombo	2,600	1,490	0,164
Darcy	(a) 3,257	(a) 1,799	(a) 0,194
Manning	3,850	2,085	0,199
Lévy	2,985	1,544	0,148
Flamant	3,500	2,100	0,189
Geslain	(b) 3,700	(b) 2,050	(b) 0,181
Unwin i Reynolds	(b) 2,870	(a) 1,710	(a) 0,195
Thrupp	3,740	2,250	0,223
Kutter	(a) 3,590	(a) 2,305	(a) 0,225

El exámen comparativo de estos resultados, muestra:

1.° Que para tubos de 1,75 m. de diámetro, las fórmulas de *Prony, Dupuit, Colombo,* dan gastos sensiblemente mui débiles, miéntras que las de *Manning, Flamant, Geslain, Thrupp* i *Kutter*, dan cifras mui altas.

Las espresiones propuestas por *Unwin* i *Reynolds, Darcy,* i principalmente *Lévy* dan buenos resultados.

2.° Que para los tubos de 1,22 m., las antiguas fórmulas de *Prony, Dupuit, Colombo*, así como las fórmulas de *Lévy*, son admisibles; todas las demas exajeran el gasto.

3.° Que para los tubos de 0,533 m., las fórmulas de *Darcy, Manning, Flamant, Geslain, Reynolds,* dan resultados satisfactorios; las de *Prony, Dupuit, Colombo* i *Lévy*, dan cifras mui bajas; las de *Thrupp* i *Kutter*, dan valores mui subidos.

Como conclusion, M. Dariès, da la preferencia a la fórmula de *Flamant*, para diámetros inferiores a 1 m. i a la de *Lévy*, para los diámetros superiores a esa cifra. Para los diámetros comprendidos entre 0,15 m. i 0,80 m., se obtiene, dice, resultados bastante

(a) Tubos nuevos.
(b) Paredes poco incrustadas.

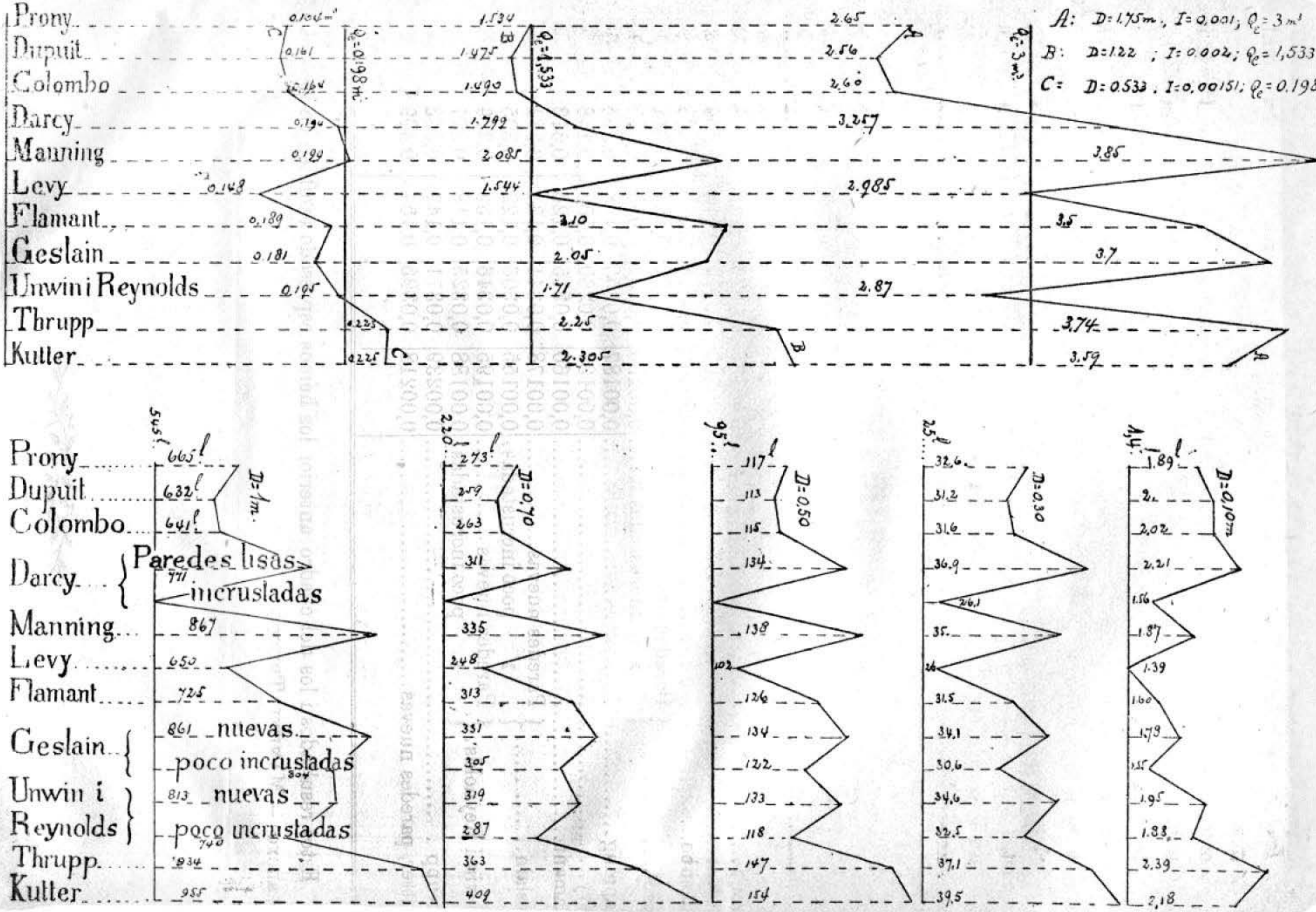
satisfactorios con la mayor parte de las fórmulas antiguas i con las de *Darcy*, *Manning*, *Kutter*, etc., las de *Reynolds* son bastante aproximadas para toda la escala de los diámetros.

Como lo hacen observar los *Annales*, los resultados anteriores hacen resaltar la incertidumbre de los resultados que dan todas las fórmulas actualmente empleadas i la necesidad que hai de ejecutar nuevas esperiencias para correjir dichas fórmulas. En el estado actual de esta cuestion, es inútil, pues, llevar mui léjos la aproximacion en los cálculos relativos a cañerías, puesto que no se obtendrán sino resultados inciertos.

Estas mismas conclusiones se desprenden de las cifras siguientes, que dan en $m.^3$ los gastos de que serian capaces, segun las fórmulas anteriores, tubos de 0,10 m., 0,30 m., 0,70 m. i 1 m. de diámetro, bajo una carga de 0.001.

FÓRMULAS	DIÁMETROS				
	0,10 m.	0,30 m.	0,50 m.	0,70 m.	1,00 m.
Prony	0,00189	0.0326	0,117	0,273	0,665
Dupuit	0,00200	0,0312	0,113	0,259	0,632
Colombo	0,00202	0,0316	0,115	0,263	0,641
Darcy, Paredes lisas	0,00221	0,0369	0,134	0,311	0,771
Darcy, » incrustadas	0,00156	0,0261	0,095	0,220	0,545
Manning	0,00187	0,0350	0,138	0,335	0,867
Lévy	0,00139	0,0260	0,1025	0,248	0,650
Flamant	0,00160	0,0315	0,126	0,313	0,725
Geslain, Paredes nuevas	0,00178	0,0341	0,134	0,331	0,861
Geslain, » poco incrustadas	0,00155	0,0306	0,122	0,305	0,804
Unwin i Reynolds, Paredes nuevas	0,00195	0,0346	0,133	0,319	0,813
Unwin i Reynolds, » poco incrustadas	0,00188	0,0325	0,118	0,287	0,740
Thrupp	0,00239	0,0371	0,147	0,363	0,934
Kutter, paredes nuevas	0,00218	0,0395	0,154	0,409	0,955

Estos resultados i los del cuadro anterior los hemos espresado tambien en los gráficos anexos.—MANUEL TRUCCO.



Gastos para I=0,001.