

APLICACIÓN SIMPLIFICADA DE LA FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH A LOS SISTEMAS DE RIEGO A PRESIÓN



Vicente Angeles Montiel
Departamento de Irrigación
Universidad Autónoma Chapingo
e-mail: vangelesm@msn.com

I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015 DE RIEGO Y DRENAJE
23 Y 24 de noviembre de 2015
Jiutepec, Morelos



Introducción

Las tuberías con salidas múltiples son ampliamente utilizadas en los sistemas de riego presurizados como la aspersión, la microirrigación y las tuberías multicompuertas para distribuir agua al interior de los predios de las zonas bajo riego. El estudio del funcionamiento hidráulico de estas tuberías en la fase de diseño o evaluación de estos sistemas, es clave para su desempeño.

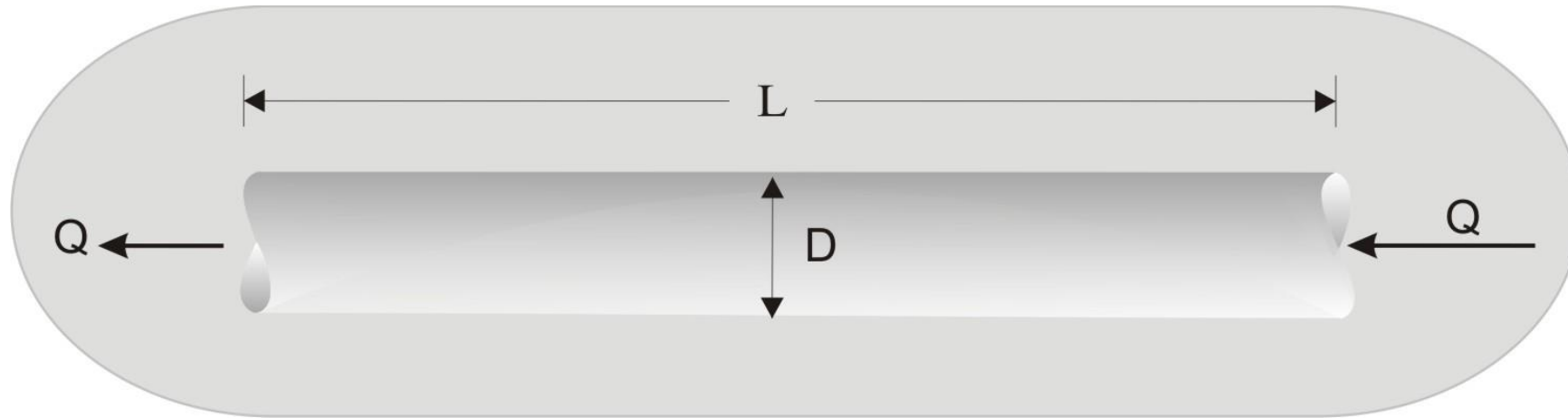
Según Vallesquino (2004), los métodos para examinar el comportamiento hidráulico de este tipo de tuberías se pueden agrupar en tres categorías a saber: el cálculo paso a paso y los modelos discretos o continuos alternativos a éste.

Riego a presión



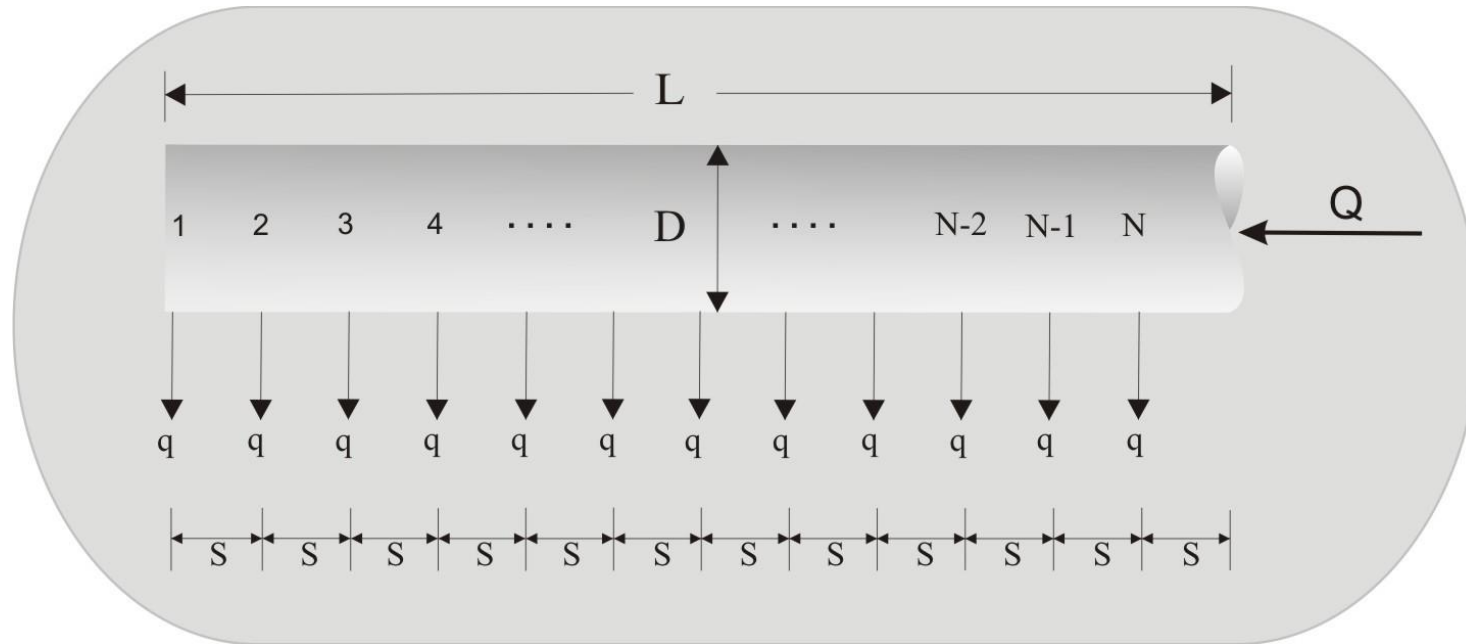
Tuberías con salidas múltiples

ASPECTOS TEÓRICOS



$$hf = K \frac{Q^m}{D^n} L$$

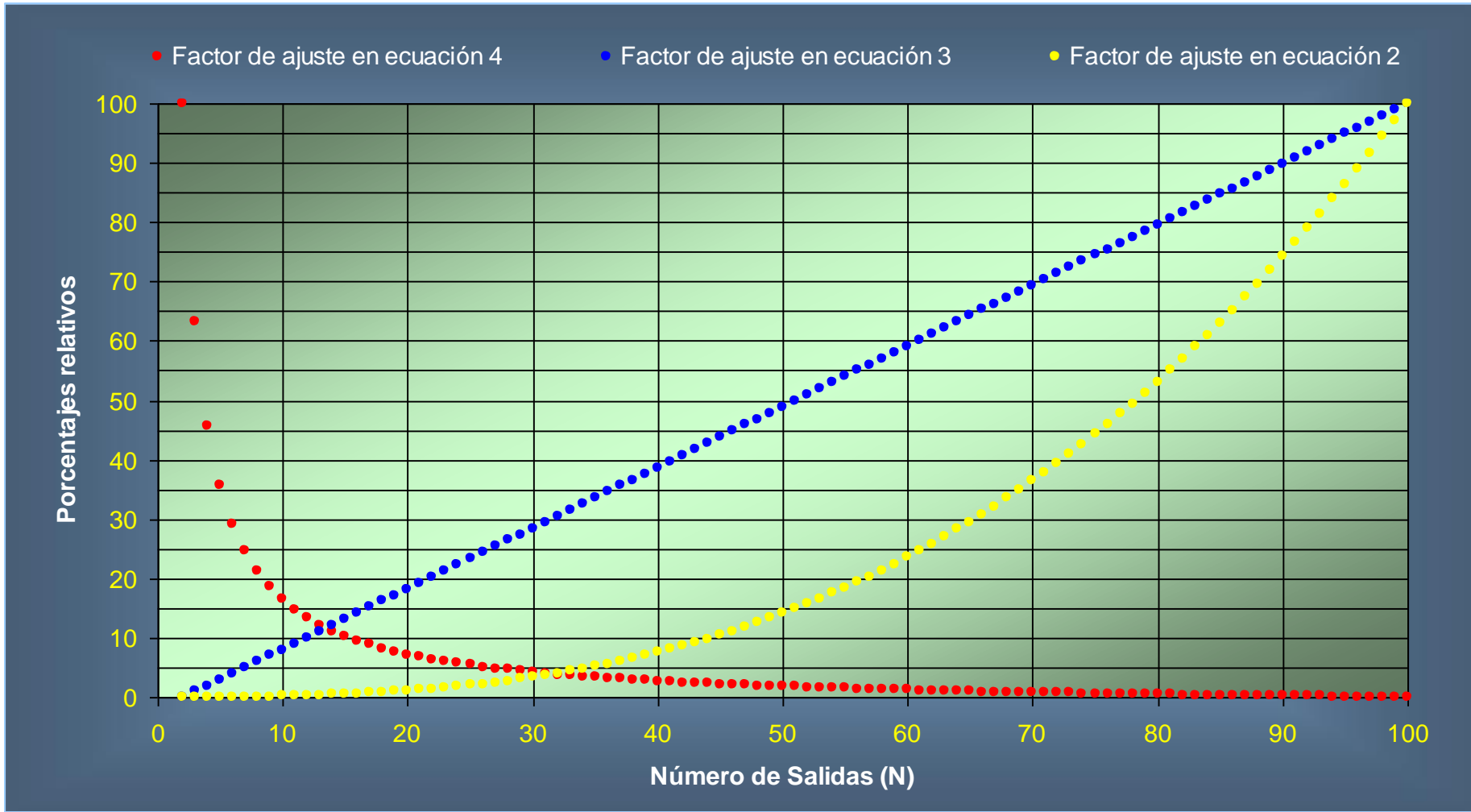
ASPECTOS TEÓRICOS



$$hf_L = \sum_{i=1}^N hf_i = \sum_{i=1}^N K \frac{Q_i^m}{D^n} S = \sum_{i=1}^N K \frac{(iq)^m}{D^n} S = \sum_{i=1}^N K \frac{q^m i^m}{D^n} S = \left(K \frac{q^m}{D^n} S \right) \left(\sum_{i=1}^N i^m \right)$$

$$F = \frac{1}{N^{m+1}} \sum_{i=1}^N i^m = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

Factores de ajuste



Fórmula de Darcy-Weisbach

$$hf = \frac{f}{12.1} \frac{Q^2}{D^5} L$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{Re} = \frac{4Q}{\pi D v}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Avances en la cuantificación del factor de fricción f

Guo y Julien (2003)

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \left(1 + \frac{Re}{431000} \right)^{\frac{1}{8}}$$

Sonnad y Goudar (2006)

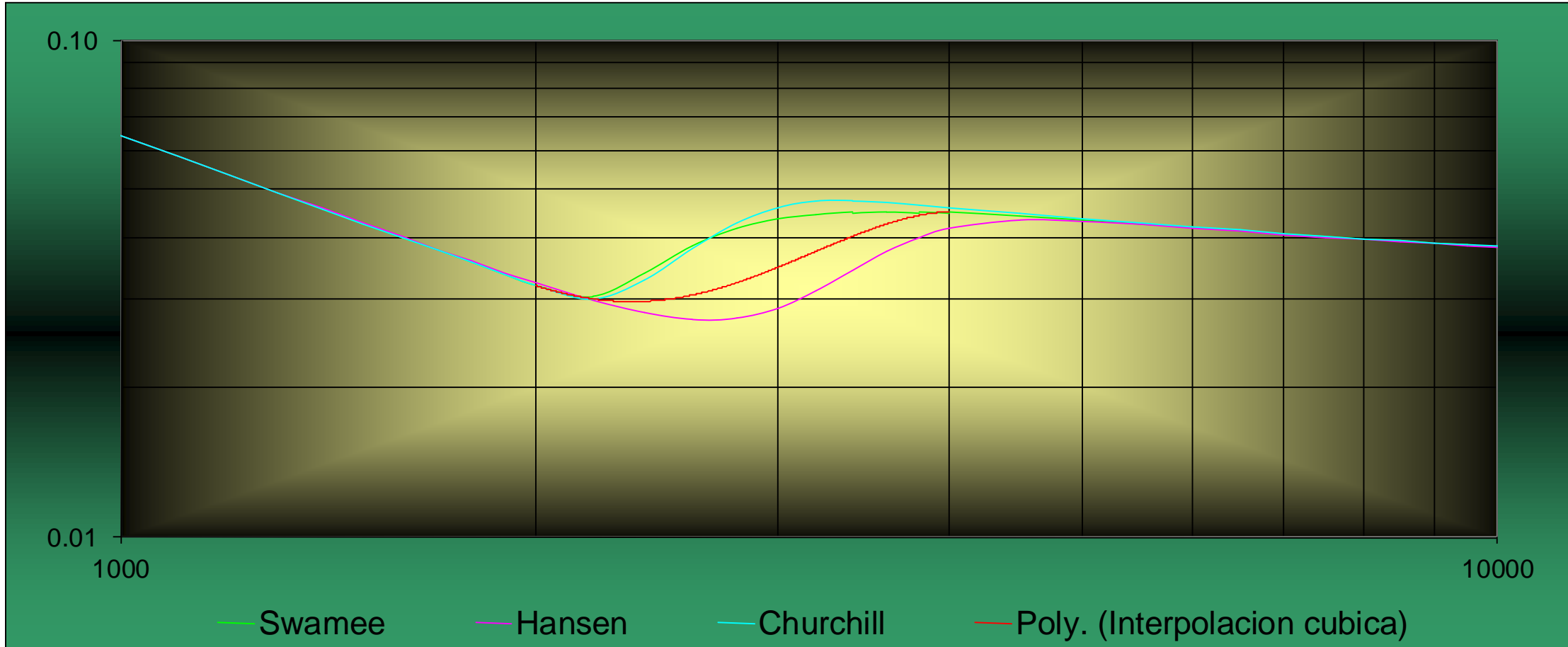
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.8686 \ln \left(\frac{0.4587 Re}{s^{\frac{s}{s+1}}} \right)$$

$$s = 0.124 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) Re + \ln(0.4587 Re)$$

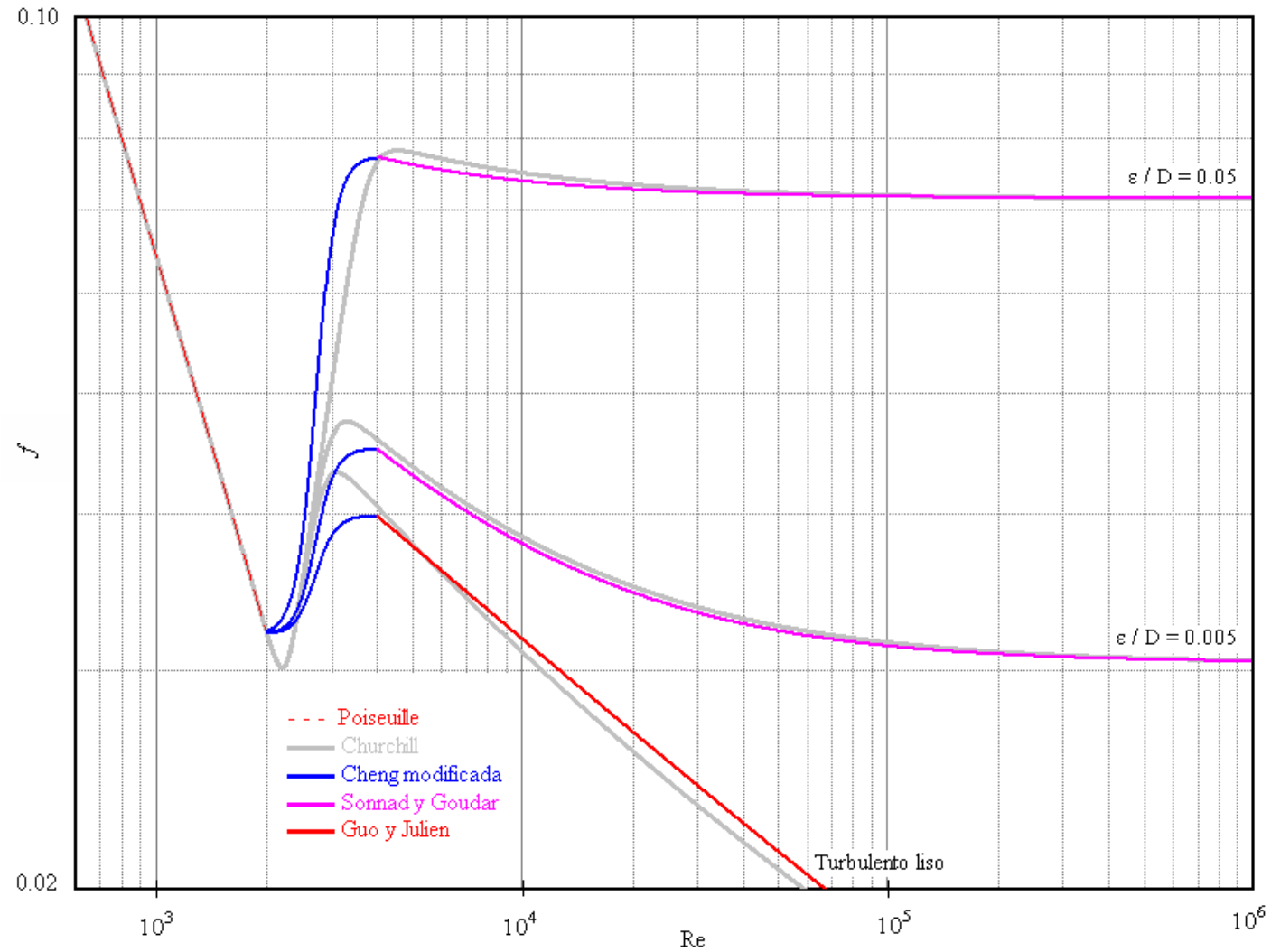
Cheng (2008) modificada

$$f = f_L^\alpha f_T^{1-\alpha} \quad \alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{Re}{2720} \right)^{16}}$$

Avances en la cuantificación del factor de fricción f



Avances en la cuantificación del factor de fricción f



Cálculo de hf sin el factor de fricción f

Adiutori (2009)

$$f = 12.1 \frac{D^5}{Q^2} \frac{hf}{L} = \frac{\pi^2 g}{8} \frac{D^5}{Q^2} \frac{hf}{L}$$

Resultando para flujo laminar

$$hf = \frac{128}{\pi} \frac{\nu}{g} \frac{Q}{D^4} L$$

Cálculo de h_f sin el factor de fricción f

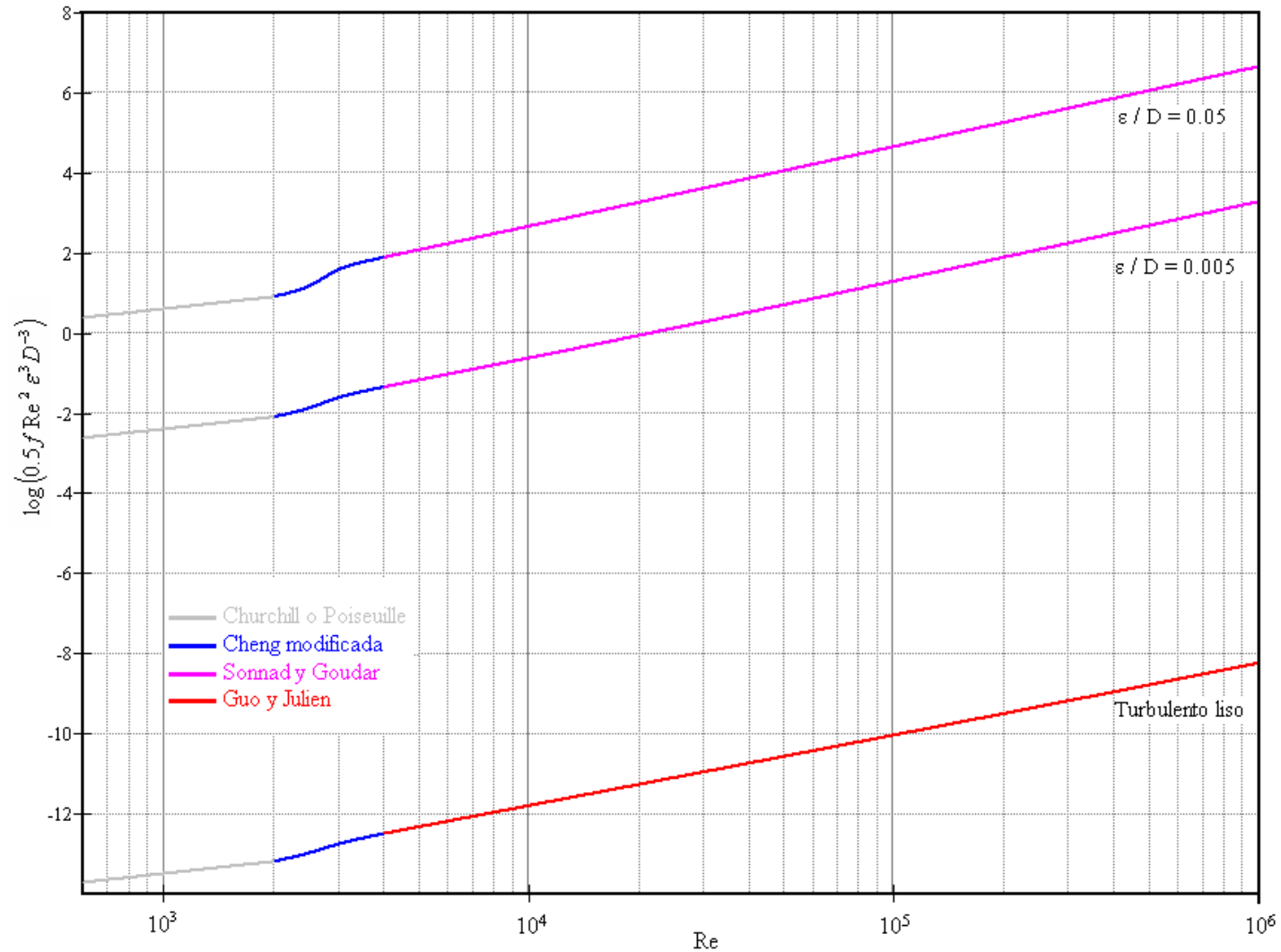
Adiutori (2009), para flujo turbulento define dos grupos:

$$0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 \qquad \frac{\pi}{4} \operatorname{Re} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)$$

Los cuales llevan a las siguientes identidades

$$0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 = g \frac{\varepsilon^3}{v^2} \frac{hf}{L} \qquad \frac{\pi}{4} \operatorname{Re} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) = \frac{Q}{v\varepsilon}$$

Cálculo de h_f sin el factor de fricción f

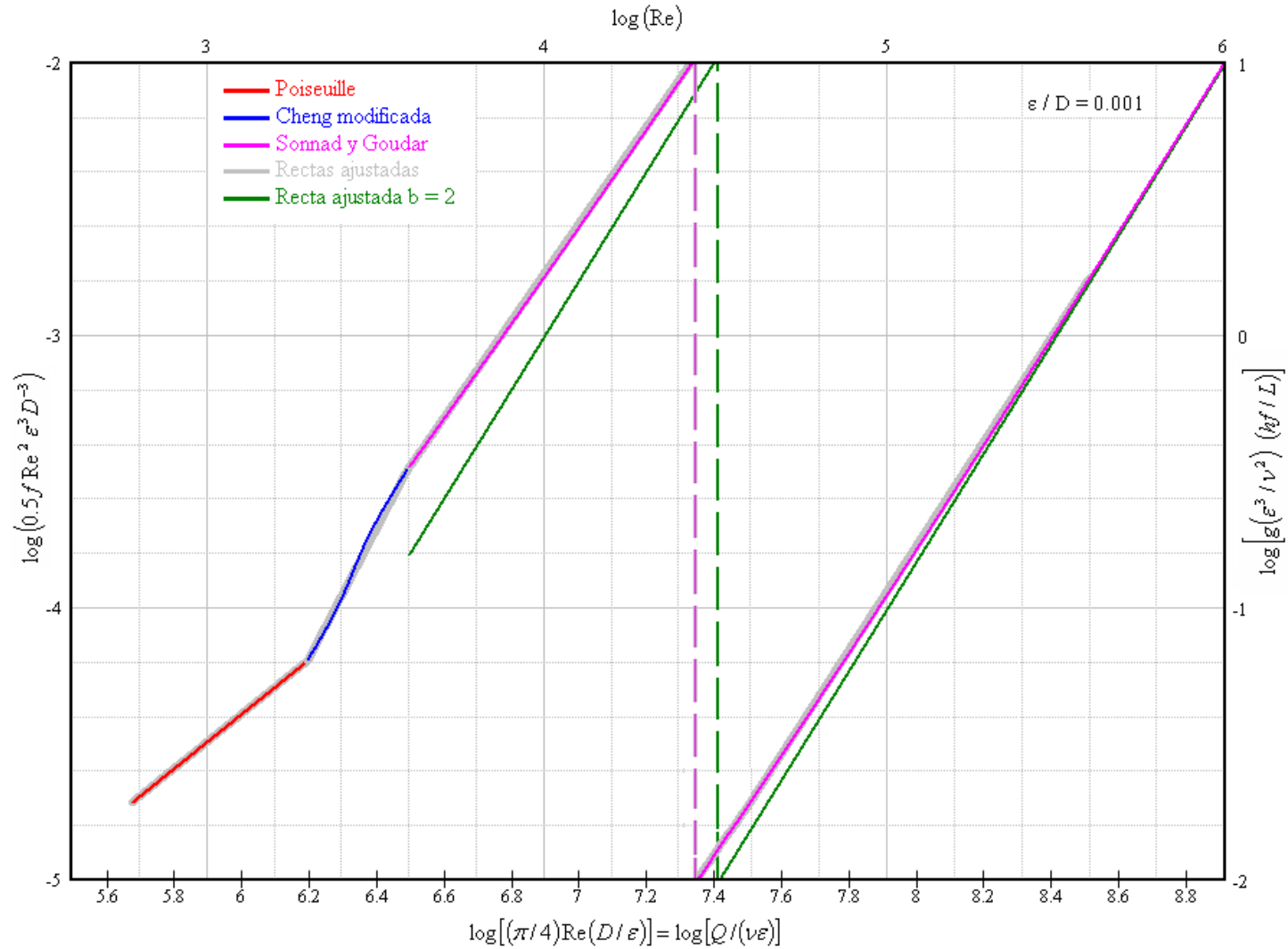


Modelo lineal

$$b = \frac{\log \left[0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 \right]_2 - \log \left[0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 \right]_1}{\log \left[\frac{\pi}{4} \operatorname{Re} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) \right]_2 - \log \left[\frac{\pi}{4} \operatorname{Re} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) \right]_1}$$

$$a = \log \left[0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 \right]_2 - (b) \log \left[\frac{\pi}{4} \operatorname{Re} \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) \right]_2$$

Gráfica modelo lineal



Empleando las 2 identidades de Adiatori (2009)

$$0.5 f \operatorname{Re}^2 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^3 = g \frac{\varepsilon^3}{v^2} \frac{hf}{L} \qquad hf = \frac{10^y}{g} \frac{v^2}{\varepsilon^3} L$$

$$10^y = 10^a 10^{bx} = 10^a 10^{b \left[\log \left(\frac{Q}{v\varepsilon} \right) \right]} = 10^a \left[10^{\log \left(\frac{Q}{v\varepsilon} \right)} \right]^b = 10^a \left(\frac{Q}{v\varepsilon} \right)^b$$

$$hf = \frac{10^a}{g} \left(\frac{Q}{v\varepsilon} \right)^b \frac{v^2}{\varepsilon^3} L = \frac{10^a}{g} \frac{v^{2-b}}{\varepsilon^{3+b}} Q^b L$$

Resultados para el exponente de Q

ϵ / D	Re					
	4.E+03	4.E+04	4.E+05	4.E+06	4.E+07	4.E+08
	4.E+04	4.E+05	4.E+06	4.E+07	4.E+08	4.E+09
0.05	1.971	2.000				
0.01	1.901	2.000				
0.005	1.860	1.972	2.000			
0.001	1.780	1.913	2.000			
0.0005	1.762	1.880	1.973	2.000		
0.0001	1.744	1.822	1.922	2.000		
0.00005	1.742	1.809	1.895	1.975	2.000	
0.00001	1.740	1.797	1.851	1.929	2.000	
0.000005	1.768		1.874		1.986	
0.000001	1.767		1.852		1.961	

Darcy-Weisbach aplicada a TCSM

$$hf_L = \sum_{i=1}^N hf_i$$

$$hf_L = \sum_{i=1}^N \frac{10^a}{g} \frac{v^{2-b}}{\epsilon^{3+b}} Q_i^b S$$

$$hf_L = \sum_{i=1}^N \frac{10^a}{g} \frac{v^{2-b}}{\epsilon^{3+b}} (iq)^b S$$

$$hf_L = \left(\frac{10^a}{g} \frac{v^{2-b}}{\epsilon^{3+b}} q^b S \right) \left(\sum_{i=1}^N i^b \right)$$

Conclusiones

Aunque en aplicaciones prácticas en el ámbito del riego, el impacto en el valor de la pérdida de carga por fricción no es determinante al emplear una única expresión como la de Churchill para cuantificar el coeficiente de fricción f en los flujos laminar, de transición y turbulento; se sugiere utilizar la expresión de Poiseuille para flujo laminar, la de Cheng modificada para el flujo de transición en la zona crítica, la de Guo y Julien para el flujo turbulento liso y la Sonnad y Goudar para el flujo turbulento de transición y rugoso, dado su mejor ajuste a datos experimentales según sus respectivos autores.

Conclusiones

La fórmula de Darcy-Weisbach se modificó de grupos adimensionales a parámetros físicos, ya que, una vez que se ha ajustado el modelo lineal propuesto para un rango de número de Reynolds y una rugosidad relativa dados, posibilita el cálculo de la pérdida de carga por fricción prescindiendo del coeficiente de fricción f , labor que es de particular interés en el análisis de los sistemas de riego presurizado. El valor de la pendiente del modelo lineal ajustado, que se corresponde con el exponente del caudal en la fórmula de Darcy-Weisbach, fue de 1 en el flujo laminar, mayor a 2 en el flujo de transición de la zona crítica y entre 1.75 y 2 para el flujo turbulento (liso, de transición y rugoso).