



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

# DISEÑO HIDRÁULICO DE TUBERÍAS CON SALIDAS MÚLTIPLES MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS

*Sergio Iván Jiménez Jiménez; Cándido  
Ramírez Ruíz*



Fecha 17/octubre/2018



## Sistema de riego presurizado

- Las ciegas



- Las salidas múltiples





## Materiales y métodos

### A. Pérdida de carga por fricción

$$hf = K \frac{Q^m}{D^n} L \quad (1)$$

Dónde:  $hf$  es la pérdida de carga por fricción;  $K$  involucra a un coeficiente de conversión;  $Q$  es el caudal;  $D$  es el diámetro;  $L$  es la longitud;  $m$  y  $n$  exponentes.

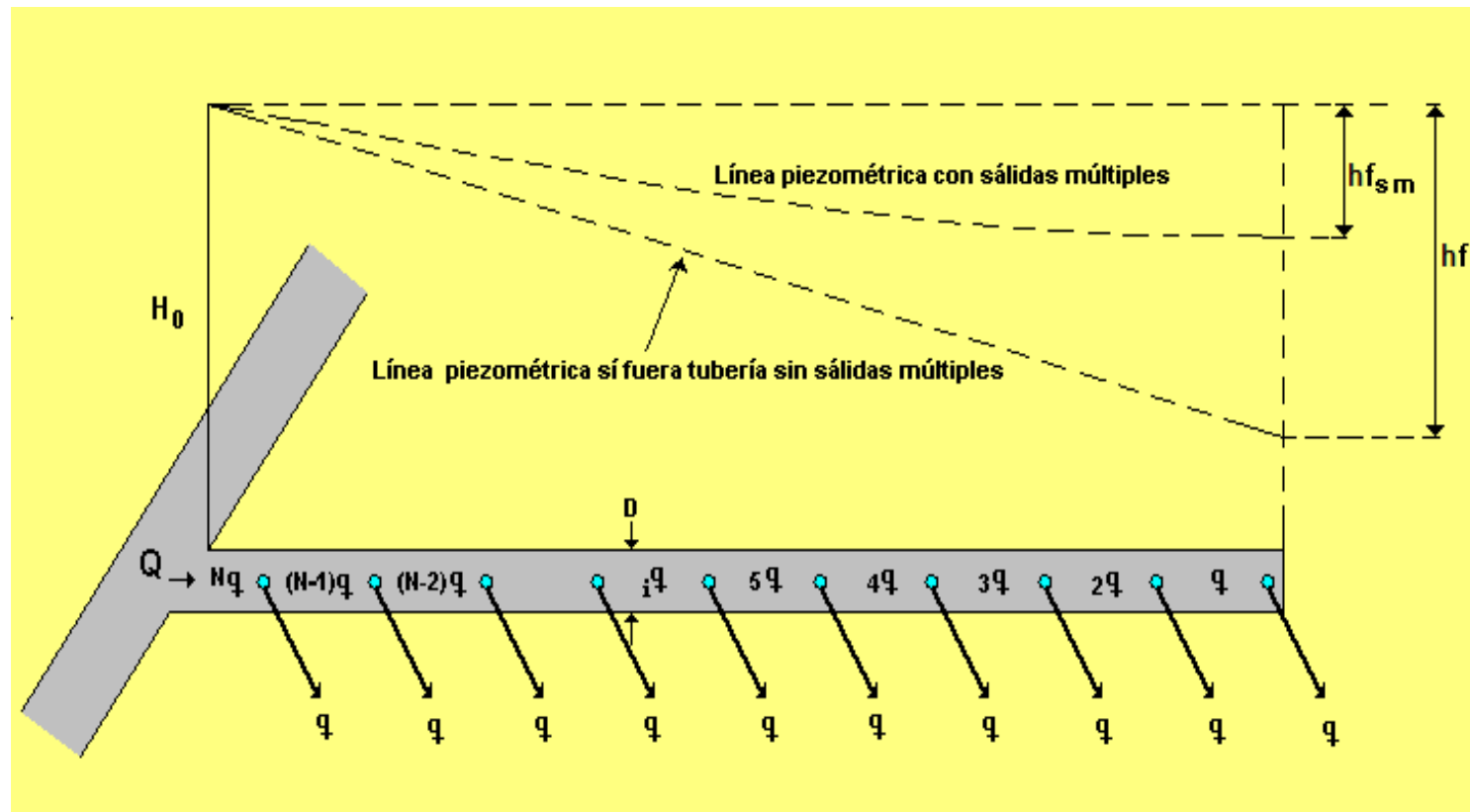
**Cuadro 1.** Coeficientes y exponentes de las principales formulas empleadas para cuantificar la pérdida de carga por fricción.

Formula	K	m	n
Darcy-Weisbach	$0.0826 * f_{DW}$	2	5
Hazen-Williams	$10.648 \left( \frac{1}{C_{HW}} \right)^{1.852}$	1.852	4.871
Manning	$10.3 * n^2$	2	16/3
Scobey	$0.004098 * K_s$	1.9	4.9

$f_{DW}, C_{HW}, n, k_s,$   
(coeficientes)

## Materiales y métodos

### B. Pérdida de carga con salidas múltiples



**Figura 1.** Tubería con salidas múltiples. Primera salida al mismo espaciamiento que los emisores (Montiel, *et al.*, 2002).



## Materiales y métodos

$$hfs = hf * F$$

- **Christiansen (1942)**

$$F_1 = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (3)$$

Dónde;  $F_1$  es el factor de salidas múltiples de *Christiansen*;  $N$  es el número de salidas;  $m$  es el exponente.

- **Jensen & Fratini (1957)**

$$F_2 = \frac{2N}{2N-1} \left( \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^6} \right) \quad (4)$$

- **Scaloppi (1988)**

$$F_3 = \frac{NF_1 + r_s - 1}{N + r_s - 1} \quad (5)$$



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Materiales y métodos

### C. Perdida de carga permisible

Es igual a un cierto porcentaje  $P$  de la carga del emisor  $h_e$ , más la carga de presión que se gana por el desnivel a favor ( $d_n$ ).

**Montiel, *et al.* (2002)**

$$h_{fp} = P * h_e + d_n$$



## Materiales y métodos

### D. Diseño hidráulico

$$hfp = \left[ K \frac{Q^m}{D^n} L \right] * F \quad (7)$$

Es posible calcular el caudal que entra en la tubería y la longitud en base al número de salidas  $N$  y las condiciones de las salidas como caudal de cada salida  $Qs$  y la separación entre salidas  $S$ :

$$Q = Qs * N \quad (8)$$

$$L = S * N \quad (9)$$



## Materiales y métodos

### D. Diseño hidráulico

Sustituyendo las dos ecuaciones anteriores (8 y 9) en la ecuación 7:

- Con  $F_1$  de **Christiansen**

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right] - hfp \quad (10)$$

- Con  $F_2$  de **Jensen & Fratini**

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{2N}{2N-1} \left( \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^6} \right) \right] - hfp \quad (11)$$

- Con  $F_3$  de **Scaloppi**

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{NF_1 + r_s - 1}{N + r_s - 1} \right] - hfp \quad (12)$$





IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Materiales y métodos

### i. Método de Newton-Raphson

$$N_{i+1} = N_i - \frac{f(N_i)}{f'(N_i)} \quad (14)$$

Y para encontrar la  $f'(N_i)$  se aplica el método de los cinco puntos

$$f'(N_i) = \frac{1}{12*h} * (-25 * f(N_{i0}) + 48 * f(N_{i1}) - 36 * f(N_{i2}) +$$



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Materiales y métodos

### ii. Método de bisección

Para aplicar este método se ocupa de dos valores iniciales  $[A, B]$ , el punto medio va variar con respecto al número de iteración y si la función converge la diferencia entre el punto medio y los extremos se vuelve pequeña, por tanto, cuando se cumpla una cierta tolerancia se dice que hemos encontrado el valor que se buscaba.

Comentario:  $A = 0$ ,  $B = 10,000$

Calcular  $N = (a + b)/2$



## Materiales y métodos

### ii. Método de bisección

Con  $F_1$  de Christiansen:

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right] - hfp \quad (17)$$

Con  $F_2$  de Jensen & Fratini:

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{2N}{2N-1} \left( \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^6} \right) \right] - hfp \quad (18)$$

Con  $F_3$  de Scaloppi:

$$f(N) = \left[ K \frac{(Q_s * N)^m}{D^n} (S * N) \right] * \left[ \frac{NF_1 + r_s - 1}{N + r_s - 1} \right] - hfp \quad (19)$$

Si  $f(N) > 0$   $B = N$ ;

De lo contrario  $A = N$ ;

Tolerancia  $|f(N)| \leq 0.0000001$



IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Resultados y discusiones

Encontrar la longitud máxima permisible de la tubería de polietileno:

Caudal medio del emisor ( $Q_s$ ) es 37.5 l/h

Diámetro interno (21 mm),

Espaciamiento entre emisores consecutivos es 2.5 m,

Espaciamiento entre el inicio de la lateral y la primera salida de 2.5 m (s), 1.2 m y 3 m.

Pérdida de carga permisible:

$$h_{fp} = 20m * 0.10 + 0 = 2 m$$



**IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE**  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



# Resultados y discusiones

Método	S	Fórmula	Coefficiente de rugosidad	Salida #	Longitud	Iteración #
<b>Newton Raphson</b>	So=S	Manning	0.009	30	75	18
		Hazen-Williams	145	34	85	17
		Scobey	0.32	34	85	18
		Darcy Weisbach	0.0322	34	85	21
	So=s/2	Manning	0.009	30	75	8
		Hazen-Williams	145	34	85	8
		Scobey	0.32	35	87.5	8
		Darcy Weisbach	0.0322	34	85	12
	rs=3/2.5	Manning	0.009	30	75	8
		Hazen-Williams	145	33	82.5	7
		Scobey	0.32	34	85	8
		Darcy Weisbach	0.0323	34	85	12
<b>Bisección</b>	So=S	Manning	0.009	30	75	33
		Hazen-Williams	145	34	85	32
		Scobey	0.32	34	85	32
		Darcy Weisbach	0.0322	34	85	18
	So=s/2	Manning	0.009	30	75	32
		Hazen-Williams	145	34	85	33
		Scobey	0.32	35	87.5	35
		Darcy Weisbach	0.0322	34	85	33
	rs=3/2.5	Manning	0.009	30	75	32
		Hazen-Williams	145	33	82.5	33
		Scobey	0.32	34	85	33
		Darcy Weisbach	0.0323	34	85	30

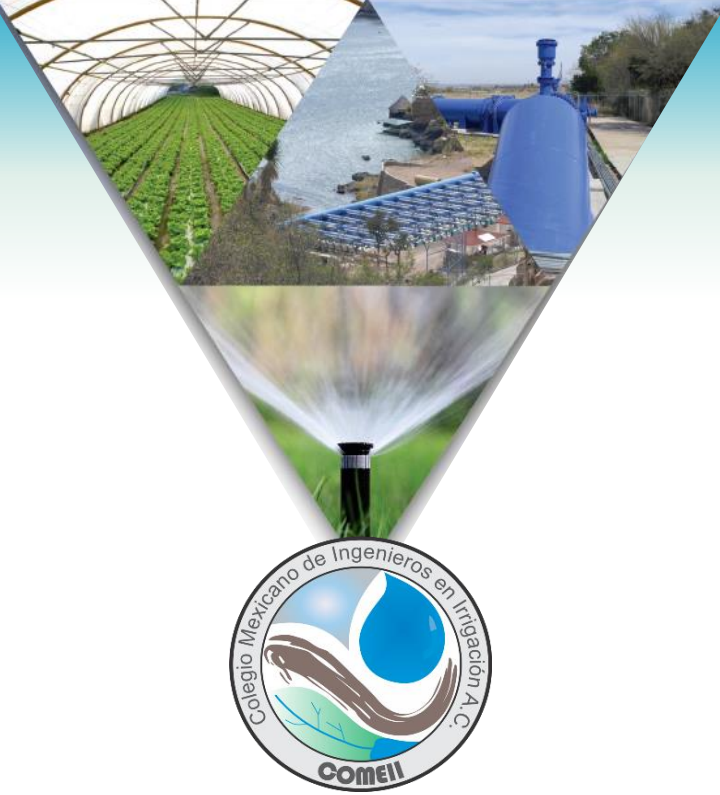


IV CONGRESO NACIONAL  
DE RIEGO Y DRENAJE  
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



## Conclusiones

- En este trabajo se presentó un método para determinar la longitud máxima permisible de una tubería con salidas múltiples de un solo diámetro.
- Ambos métodos **llegan al mismo resultado**, el método de **bisección** es más **sencillo** de aplicar aunque se requieren **más iteraciones** que con el de **Newton Raphson**.
- Los dos métodos que se probaron brindaron resultados satisfactorios, esto indica que es posible **diseñar** estas tuberías con el **uso** de los **métodos numéricos**.



# Gracias

M.C. SERGIO IVÁN JIMÉNEZ JIMÉNEZ  
ING. CÁNDIDO RAMÍREZ RUÍZ  
POSGRADO EN INGENIERÍA CIVIL HIDRÁULICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO-CAMPUS IMTA.  
CANDIDO.RAMIREZ@COMUNIDAD.UNAM.MX  
SERCHJIMENEZ.1990@GMAIL.COM

