

PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS EN INSERCIONES DE RAMALES DE GOTEO

L. Rodríguez Sinobas¹, L. Juana Sirgado², R. Sánchez Calvo³ y A. Losada Villasante⁴

Resumen:

Las pérdidas de carga localizadas suelen expresarse mediante un coeficiente K que se aplica al sumando cinético de Bernoulli, o como las que resultarían de un incremento de longitud de tubería en el que se producirían las mismas pérdidas, es decir, lo que se conoce como longitud equivalente l_e . Para la evaluación en el punto de inserción de goteros en ramales, Juana et al. 2002a han propuesto dos procedimientos, uno teórico con el que se estima K , basado en la ecuación de Bélanger-Borda y los coeficientes de contracción del desagüe por orificios, y otro experimental, que calcula l_e a partir de las medidas de presión y caudal en cabeza y de pérdidas de carga en el ramal de goteo. Como continuación a dichos estudios, se evalúan en este trabajo las pérdidas de carga localizadas en la inserción del ramal en la tubería porta-ramales. A este fin, se usan los procedimientos descritos para goteros en los trabajos precedentes. Finalmente, se valora el uso de los resultados obtenidos, tanto en ramales como en la tubería porta-ramales, para predecir resultados de riego.

Palabras clave: Pérdidas de carga localizadas, tuberías porta-ramales, evaluación.

INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS

Al igual que en los goteros, las pérdidas de carga localizadas en los conectores para la inserción de los ramales en la tubería porta-ramales deben ser evaluadas. Con una tipología menos variada que la de los goteros, la analogía entre los puntos de inserción de unos y otros es evidente, por lo que, en principio, su valor dependerá de variables como las que afectan a los goteros y, por lo tanto, los procedimientos para su evaluación pueden ser similares.

Trabajos realizados en ramales de goteo por Juana et al. (2002a y b) muestran que las pérdidas de carga localizadas en la inserción del gotero, expresadas bien mediante un coeficiente K bien mediante el concepto de longitud equivalente l_e , dependen, principalmente, de la sección libre al paso del agua en el punto de inserción, así como de la forma, más o menos aerodinámica, de la inserción.

La evaluación de dichas pérdidas fue realizada mediante dos procedimientos, uno analítico y otro experimental. El primero, las determina a partir de la ecuación de pérdidas de carga producidas en un ensanchamiento brusco, de Bélanger-Borda, con un valor de coeficiente de contracción C_c dependiente de la forma de la inserción de los conectores en la dirección transversal del flujo. El segundo, en cambio, las determina a partir de las medidas de las pérdidas de carga, la presión y caudal en cabeza del ramal a partir de la expresión de pérdidas de carga de Blasius y un factor de reducción corregido de Christiansen. Los errores de las medidas de las variables y, en especial, de las pérdidas de carga repercuten en los de la determinación de K ó l_e . El efecto de la separación entre goteros, de la carga en cabeza del ramal y del número de Reynolds no tuvo significación práctica.

Dpto. Ingeniería Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (UPM). Ciudad Universitaria 28040 Madrid (Spain).

¹ Tfno: 913365675.e-mail: leonor@iru.etsia.upm.es. ² Tfno: 913365676.e-mail: juana@iru.etsia.upm.es. ³ Tfno: 913365694.e-mail: rsanchez@iru.etsia.upm.es. ⁴ Tfno: 913365677.e-mail: losada@iru.etsia.upm.es.

Artículo recibido el 27 de abril de 2004, recibido en forma revisada el 13 de julio de 2004 y aceptado para su publicación el 16 de julio de 2004. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

El flujo en la conexión del ramal con la tubería porta-ramales es similar al flujo producido en la inserción de un gotero pinchado en el ramal. En los estudios experimentales, ya realizados en éstos, se ha observado una mayor variabilidad que en goteros integrados en los valores de r que representa el cociente entre la sección de paso del agua en el punto de inserción con la sección de la tubería. Dicha variabilidad afecta también al coeficiente K . Estos resultados se relacionan con la forma de inserción del gotero. En algunos casos, dicha inserción es más profunda y en otros, más superficial. Incluso podría quedar la rebaba dentro de la tubería, pero la imprecisión que conlleva la falta de uniformidad de la inserción queda atenuada por el gran número de goteros presentes en el ramal, si bien son los de cabeza los que más influyen. En la inserción de ramales cabe prever la misma imprecisión, aunque el número de ramales de la tubería porta-ramales suele ser menor que el número de goteros en el ramal.

Las pérdidas de carga deben de considerarse en el proyecto de unidades de riego y en la estimación del resultado del riego, pues de sus valores dependerán tanto la selección de longitudes y diámetros en el caso de ramales y tuberías porta-ramales, como una estimación precisa del resultado de la unidad de riego. Sin embargo, conviene considerar que las pérdidas de carga y, más aún, el coeficiente K ó l_e no son variables que se determinen con precisión, por lo que el uso de errores absolutos puede orientar más que el de los relativos. Por todo ello, se pretende como objetivo final hacer predicciones satisfactorias en el proyecto, manejo y evaluación de las unidades de riego a partir de la caracterización hidráulica de goteros y conectores.

MATERIALES

Se han ensayado cuatro conectores (C_1, C_2, C_3 y C_4) que se insertaron en tuberías porta-ramales de dos diámetros D (32 y 40 mm) con dos separaciones s entre ramales (1 y 2 m). Las longitudes de cada una de ellas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Longitudes de las tuberías porta-ramales usadas en los ensayos.

		C_1	C_2	C_3	C_4
D (mm) 32/27,78	s (m)= 1	30,0	46,3	46,3	46,3
	s (m)= 2	46,3	46,3	46,3	46,3
D (mm) 40/35,53	s (m)= 1	30,0	46,3	45,3	46,3
	s (m)= 2	46,3	46,3	45,3	46,3

La caracterización geométrica de la inserción se hizo con un perfilómetro Nikon con lente de X 10 aumentos. Con él se midió el área ocupada por la conexión del ramal en el interior de la tubería porta-ramales y el espesor de ésta en varios puntos situados a lo largo de direcciones perpendiculares. Las medidas se realizaron con seis muestras de 3 cm de alto de cada una de ellas. En cada conector se determinó la relación r . Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

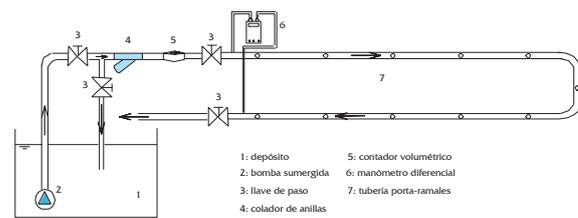


Figura 1. Esquema de la instalación del banco de ensayos de tuberías porta-ramales.

La figura 1 muestra un croquis de la instalación experimental, que consta de un depósito subterráneo que alimenta a la tubería porta-ramales, con tendido horizontal, donde se colocaron los conectores unidos a un tramo corto de tubería cerrada en su extremo. El agua se eleva mediante una bomba centrífuga. Para cada separación, se realizaron varios ensayos a diferentes presiones (con un mínimo de seis) comenzando por la mayor de todas. En cada ensayo el volumen de agua se midió con un contador volumétrico, con unidad de medida mínima de 0,1 L, cuya precisión se determinó en un depósito volumétrico, y el tiempo con un cronómetro. La carga en cabeza h_0 y las pérdidas de carga hf de la tubería se midieron con un manómetro diferencial de precisión $\pm 0,002$ m. Asimismo, la temperatura del agua del depósito se midió con un termómetro digital de precisión $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Dado que, la precisión de lecturas de las pérdidas de carga singulares hf_s es muy sensible en el rango de valores pequeños de pérdidas de carga hf (Juana et al., 2002b), todos los ensayos se hicieron con valores de $hf > 2\text{m}$, pero dentro de un intervalo de pérdidas de carga real para lo cual se regulaba,

con sendas llaves, tanto la presión en cabeza como en cola de la tubería porta-ramales. Por otra parte, además de ser resultado del análisis de errores, parece razonable pensar que el valor de K estimado en ensayos con mayores hf tendría un menor error en la predicción de pérdidas de carga pequeñas ó insignificantes, al contrario de lo que ocurriría si se considerasen ensayos con hf pequeñas.

El procedimiento experimental propuesto usa tuberías sólo con las acometidas de los ramales, pero sin ramales, lo que facilita la ejecución de los ensayos, ya que se requiere menos espacio y no se necesita recoger el agua desaguada por los goteros.

MÉTODOS

Determinación de las pérdidas de carga singulares con la ecuación de Borda

La ecuación de Bélanger-Borda determina las pérdidas de carga producidas en un ensanchamiento brusco hf_c a partir del coeficiente K como:

$$hf_c = \frac{(U_c - U)^2}{2g} = \left(\frac{1}{C_c \cdot r} - 1 \right)^2 \frac{U^2}{2g} = K \frac{U^2}{2g}$$

$$\rightarrow K = \left(\frac{1}{C_c \cdot r} - 1 \right)^2 \tag{1}$$

Donde U y U_c representan los valores medios de velocidad en la sección de aproximación del flujo al conector y en la sección contraída, respectivamente, y r es la relación entre la sección de paso del agua en el punto de conexión del conector con la sección de la tubería (ver figura 2).

La estimación del coeficiente de contracción C_c adolece de imprecisión, si no se realiza el análisis tridimensional del flujo (lo que podría hacerse con el apoyo de un programa informático de simulación). Por otra parte, la intensidad del flujo puede condicionar las superficies de separación y por tanto C_c . No obstante, dada la precisión global que cabe esperarse en la mayor parte de las situaciones prácticas reales, puede ser suficiente la adopción de un valor medio similar a los obtenidos de forma analítica y experimental en el desagüe por orificios. En éstos, el valor de C_c no sólo depende de r sino del ángulo α (ver figura 3).

Los valores de C_c obtenidos por von Mises (1917) para la contracción en un chorro con desagüe libre han sido ajustados y representados en la figura 4a. Asimismo, los valores de K que les correspondían, calculados con la ec. (1), se muestran en la figura 4b.

En general, el coeficiente de contracción provocado por un conector con un r dado, no puede caracterizarse, de forma totalmente satisfactoria, por un único valor medio de α . No obstante, se han tomado como referencias $\alpha = 45^\circ$ y $\alpha = 90^\circ$.

Tabla 2. Caracterización geométrica de los conectores (p = relativo a predicción y e = relativo a experimentación). Nota: ver símbolos en Lista de Símbolos.

Conector	sección transversal	D (mm)	r	CV _r	a	K _p	K _e	CV _{ke}	I _e (m)	CV _{le}
C ₁		27,78	0,708	0,07	45	0,62	0,58	0,11	0,77	0,16
					90	0,90				
		35,53	0,822	0,07	45	0,22	0,33	0,08	0,58	0,08
					90	0,32				
C ₂		27,78	0,829	0,04	45	0,27	0,19	0,19	0,26	0,23
					90	0,41				
		35,53	0,896	0,04	45	0,12	0,16	0,24	0,28	0,19
					90	0,16				
C ₃		27,78	0,888	0,04	45	0,08	0,12	0,29	0,16	0,33
					90	0,11				
		35,53	0,931	0,04	45	0,03	0,13	0,26	0,22	0,29
					90	0,05				
C ₄		27,78	0,853	0,05	45	0,16	0,20	0,22	0,27	0,26
					90	0,23				
		35,53	0,910	0,05	45	0,07	0,10	0,18	0,18	0,20
					90	0,09				

Las observaciones realizadas en la inserción con goteros han mostrado que el valor de α que estima los resultados experimentales suele estar comprendido entre ambos.

Por otra parte, C_c viene condicionado no sólo por la superficie de la inserción sino también por su forma y ubicación en la sección transversal. Estos aspectos no han sido considerados de forma expresa en este estudio pero podrían incluirse, también, en el valor de α . A modo ilustrativo, en la figura 5a se muestran dos conectores, con el mismo valor de r , uno de pequeño diámetro con

una inserción que penetra a mayor profundidad en la tubería que la del otro, de mayor diámetro, cuya inserción es más superficial. En el primero, el flujo tiende, fundamentalmente, a rodear a la tubería cilíndrica, mientras que en el segundo, el flujo tiende a saltar la inserción. El valor de α_1 suele ser menor que α_2 siendo el valor de éste próximo a 90° . En la figura 5b, se muestra un mismo conector pinchado en tuberías de distinto diámetro. El flujo alrededor de la inserción adquiere una mayor importancia relativa en la tubería más pequeña que en la más grande y, como consecuencia, α_1 suele ser menor que α_2 .

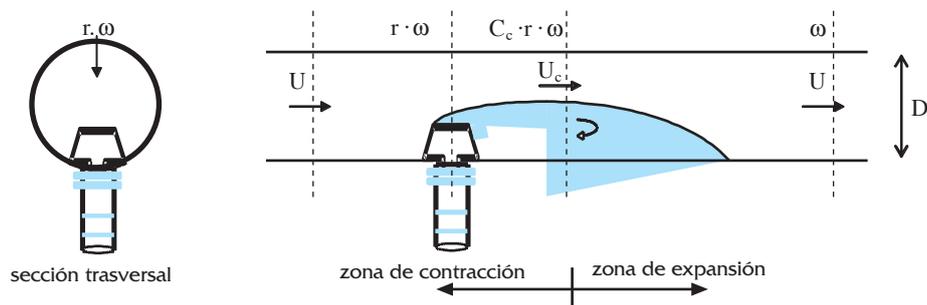


Figura 2. Secciones trasversal y longitudinal de conectores insertados en la tubería porta-ramales. Esquemas de las zonas de contracción y de expansión del flujo.

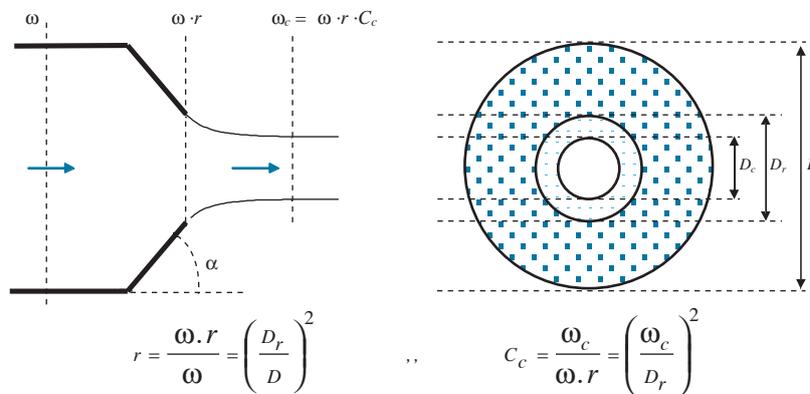
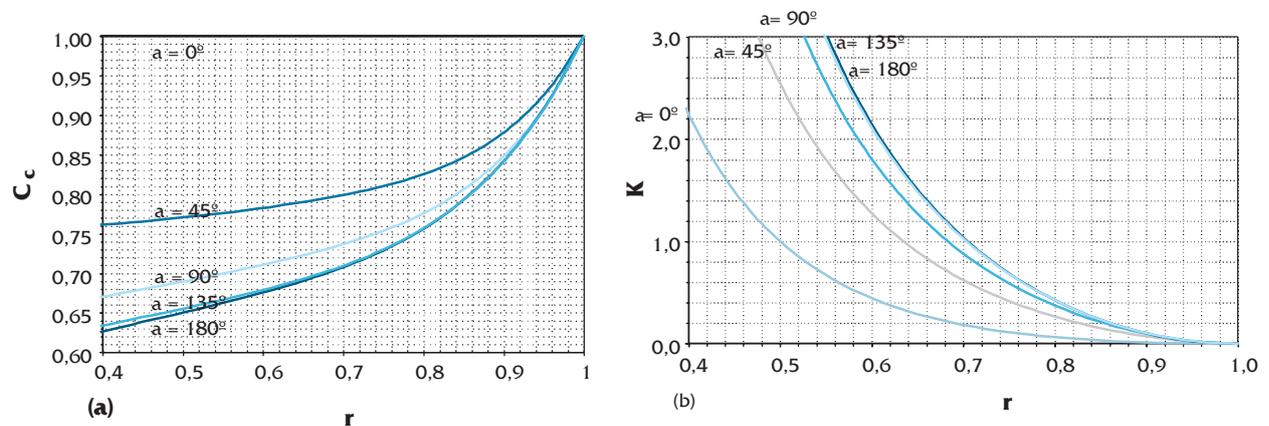
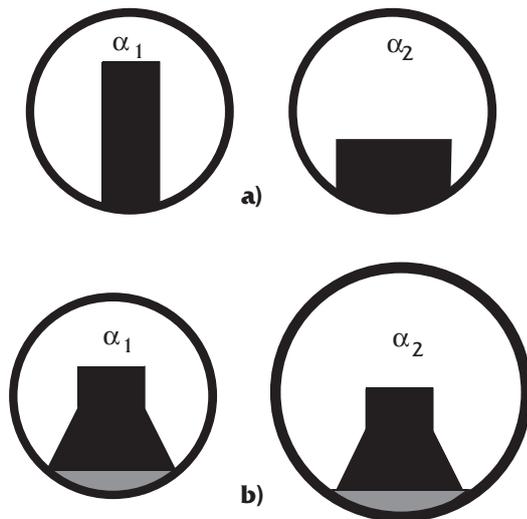


Figura 3. Esquemas longitudinal y transversal del flujo en un desagüe libre.



Figuras 4. Pérdidas de carga singular obtenidas con la ec.(1): a) Valores de C_c calculados por von Mises (1917) para contracciones de chorro con desagüe libre y b) Coeficientes K .



Figuras 5. Esquemas de inserciones: (a) Formas diferentes de inserción con el mismo valor de r. (b) Una misma inserción en dos tuberías distintas.

Los valores medios de pérdida de carga localizada K_p , calculados con (1), se muestran en la tabla 2 para los valores de $\alpha=45^\circ$ y 90° . Dichos valores se usaron para estimar las hf que corresponderían a una tubería como la ensayada en el procedimiento experimental. Posteriormente, fueron comparados con los obtenidos en cada ensayo.

Determinación de pérdidas de carga localizada con el procedimiento experimental

Las pérdidas de carga en la tubería portaramales hf han sido descompuestas en la suma de las pérdidas que se producirían en los tramos uniformes de tubería entre ramales hf_u y las que se producirían de forma localizada hf_s debidas a la inserción de los ramales. Las primeras se determinaron considerando la expresión de Blasius y las segundas por alguno de los conceptos ya mencionados, bien mediante el de longitud equivalente l_e bien mediante el de coeficiente K . El primer caso podría ser apropiado cuando el efecto del número de Reynolds en hf_s sea significativo y el segundo, en situaciones más próximas a turbulencia completa. No obstante, los resultados obtenidos con ramales muestran que ambos conceptos pueden ser aplicables con generalidad y que las diferencias de usar uno u otro no tienen la significación práctica para su consideración. En el caso de la determinación de las hf_s en tuberías portaramales, con mayor diámetro que el ramal, parece más razonable el uso de K .

Si hf_s se expresan en términos de l_e se tiene:

$$hf = hf_u + hf_s = 0,0246 \cdot v^{0,25} \cdot Q_0^{1,75} \cdot D^{-4,75} \cdot L \left(1 + \frac{l_e}{s} \right) = hf_u \left(1 + \frac{l_e}{s} \right) \tag{2}$$

donde: v es la viscosidad cinemática del agua; Q_0 el caudal del ensayo; L la longitud de la tubería; D el diámetro interior de la tubería portaramales y 0,0246 la constante cuando se usa el SI de unidades.

En caso de expresarlas por medio del coeficiente K , se tiene:

$$hf = hf_u + hf_s = 0,0246 \cdot v^{0,25} \cdot Q_0^{1,75} \cdot D^{-4,75} \cdot L + K \left(\frac{4Q_0}{\pi D^2} \right)^2 \frac{1}{2g} \frac{L}{s} \tag{3}$$

Comparando las expresiones (2) y (3) se llega a:

$$K = 0,298 \cdot v^{0,25} \cdot Q_0^{-0,25} \cdot D^{-0,75} \cdot l_e \tag{4}$$

En cada ensayo, l_e se determinó con la expresión (2):

$$l_e = \left(\frac{hf}{hf_u} - 1 \right) \cdot s \tag{5}$$

donde hf son las pérdidas de carga medidas en la tubería portaramales.

El coeficiente K se determina al introducir el valor de l_e en (4). La tabla 2 recoge los valores medios experimentales K_e obtenidos en los ensayos realizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valoración de los procedimientos de evaluación

La inserción de los conectores en la tubería portaramales no fue del todo uniforme debido a la dificultad para colocarlos. Su colocación depende del punto de la tubería donde se realice la perforación y, aunque se intentó que ésta fuese parecida en todos los conectores, algunos de ellos quedaron más perpendiculares a la dirección del flujo que otros.

Dicha variación afecta a la forma de la obstrucción al paso del agua, que pudo diferir en todos ellos, por lo que los resultados experimentales, aparte de los correspondientes errores de medida, adolecen de dicha variabilidad.

En la tabla 2 y figura 6 se observa que los coeficientes K_p , estimados por el procedimiento analítico, para los valores de $\alpha = 45^\circ$ y 90° , han sido mayores en los conectores C_1, C_2 y C_4 , insertados en la tubería de 32 mm, tal como cabía esperar dada su mayor obstrucción al paso del agua. En el procedimiento experimental no se observaron diferencias significativas en las pérdidas de carga localizada entre separaciones por lo que se calcularon valores medios de K_e . Éstos coinciden, de forma aproximada, con los calculados con el procedimiento analítico. Las mayores diferencias se producen en el conector C_2 insertado en la tubería de 32 mm, y en el C_3 insertado en la tubería de 40 mm. En todos los casos, los valores de K_p se encuentran dentro del intervalo de $K_e \pm CV_{K_e}$.

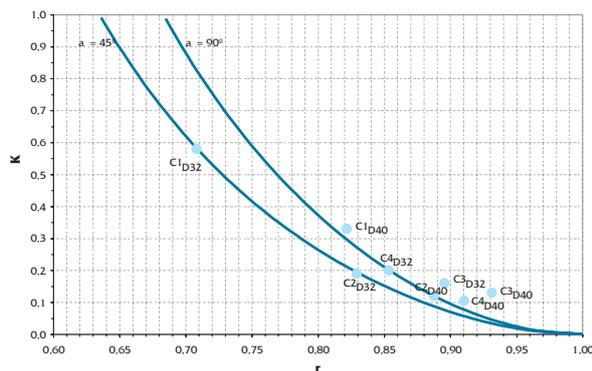


Figura 6. Coeficientes z obtenidos por los procedimientos descritos (Símbolos representan valores K_e y las líneas valores K_p).

Tras la comparación de los resultados se puede considerar que la determinación de hf_s con los procedimientos propuestos es satisfactoria, teniendo en cuenta la dificultad que conlleva la estimación del valor α que mejor caracterice la forma de la inserción.

Como consecuencia, el procedimiento analítico puede usarse como complementario o alternativo al procedimiento experimental.

Sensibilidad en la determinación de pérdidas de carga localizadas

Para ilustrar la variabilidad de resultados obtenidos, en los gráficos de la figura 7 se muestran los valores de pérdida de carga, en la tubería portaramales, calculados con el coeficiente K_p con los K_e medidos en los ensayos de dos conectores. Los resultados de la Tabla 3 muestran en la mayoría de los conectores, que el error absoluto medio cometido es menor de 0,4 mca y el máximo menor de 0,9 mca. Estos resultados sugieren que el procedimiento teórico para la estimación de hf_s en conectores puede ser sustitutivo del experimental en situaciones donde éste no pueda realizarse. En todo caso, siempre podría usarse como paso previo en la selección del conector.

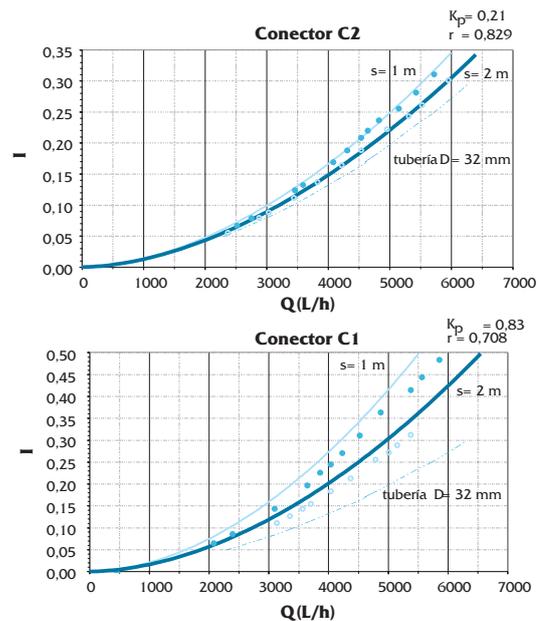


Figura 7. Relación entre caudal y pérdidas de carga de la tubería portaramales. Nota: los símbolos muestran valores observados y las líneas continuas, predicciones.

Tabla 3. Errores absolutos en la predicción de pérdidas de carga en la tubería portaramales.

Error absoluto (mca)		C_1		C_2		C_3		C_4	
		D_{32}	D_{40}	D_{32}	D_{40}	D_{32}	D_{40}	D_{32}	D_{40}
$\alpha = 45^\circ$	medio	0,26	0,42	0,15	0,37	0,33	0,42	0,51	0,25
	máximo	0,91	0,63	0,30	0,69	0,97	0,71	1,69	0,54
$\alpha = 90^\circ$	medio	1,22	0,21	0,69	0,29	0,16	0,33	0,27	0,16
	máximo	2,30	0,39	1,68	0,52	0,62	0,54	0,92	0,36

Ejemplo de aplicación de los procedimientos a la evaluación de unidades de riego por goteo

Se ha evaluado en campo una unidad de riego por goteo compuesta por una tubería porta-ramales de longitud $L = 16$ m y diámetro $D = 35,53$ mm a lo largo de la cual se han insertado ramales, con conectores C_2 , con separación $s = 1$ m. El ramal de longitud $L_r = 73$ m y diámetro $D_r = 13,43$ mm lleva goteros integrados a separación $s_r = 0,5$ m. El modelo de gotero fue evaluado previamente, en laboratorio, y sus características hidráulicas son las siguientes: ecuación de gasto $q(L/h) = 1,16 h^{0,57}$ (mca), coeficiente de variación de fabricación $CV = 0,048$ y pérdida de carga localizada $l_{eg} = 1$ m y $K_{pg} = 2,55$.

El riego se ha realizado a lo largo de 32,5 min con carga $h_0 = 11,56$ mca en cabeza constante, controlada por un regulador de presión. Durante el mismo se registró, con sensores de presión, la carga en cabeza y cola de la tubería porta-ramales así como la presión en cola de los ramales primero y último con un manómetro diferencial digital. Asimismo, también se midió el volumen de agua aportado en un contador volumétrico. La simulación de la unidad fue realizada con hoja de cálculo. Los resultados experimentales y los simulados se presentan en la tabla 4.

Se observa que los valores simulados se aproximan, razonablemente, a los medidos, si se tiene en cuenta que en la simulación se ha considerado que la unidad era llana, por lo que los resultados adolecen del efecto que sobre las pérdidas de carga ejercen los pequeños desniveles del terreno. Asimismo, cabe mencionar la falta de precisión que se tiene en la medida de valores tan pequeños de pérdidas de carga.

Durante el riego se recogió el agua desaguada, en un minuto, en una muestra de 32 goteros seleccionados según el procedimiento de Merriam y Keller (1978) para la evaluación de unidades de riego por goteo. La Tabla 5 muestra el resultado del riego obtenido con los datos de campo y el simulado, evaluados con el coeficiente de uniformidad de Christiansen C_u y el coeficiente de variación CV . Supuesto que el volumen requerido coincide con el volumen medio del cuarto menor, también se muestra el rendimiento de la aplicación potencial R_{ap} , el coeficiente de déficit C_d y la fracción de suelo suficientemente mojada f . Se observa que los valores simulados son muy parecidos a los obtenidos en la evaluación.

CONCLUSIONES

La predicción de pérdidas de carga localizadas en los puntos de inserción de los conectores de los ramales a la tubería porta-ramales se aproxima, con razonable precisión, en el procedimiento analítico propuesto. Éste determina el coeficiente K con la ecuación de Bélanger-Borda a partir de la medida de la sección libre de paso del flujo en el punto de inserción y mediante la estimación de un coeficiente de contracción C_c similar al que caracteriza la contracción de un chorro con desagüe libre. K puede ser expresado en términos de longitud equivalente, a partir de la expresión de pérdidas de carga de Blasius, conocido el diámetro y el caudal de la tubería y la viscosidad cinemática del agua. El procedimiento experimental propuesto para evaluación de dichas pérdidas puede ser complementario o alternativo del analítico.

No se ha apreciado diferencia significativa entre las pérdidas de carga observadas en la tubería porta-ramales y las estimadas a partir de los coeficientes K ,

Tabla 4. Valores de las variables de operación del riego.

	Q_0 (L/h)	h_0 (mca)		h_L (mca)		hf_r (m)		hf (m)
		ram. 1	ram. 16	ram. 1	ram. 16	ram. 1	ram. 16	
Simulado	7409	11,56	10,69	5,26	3,77	6,29	6,92	0,87
Medido	7293	11,56	11,12	5,14	5,02	6,42	6,10	0,44

Tabla 5. Resultado del riego

	C_u	CV	R_{ap}	C_d	f
Simulado	0,85	0,19	0,80	0,004	0,88
Experimental	0,86	0,16	0,83	0,004	0,88

por lo que dichos valores podrían ser usados para la selección de variables del proyecto en unidades de riego por goteo. Asimismo, la estimación de pérdidas de carga localizadas, tanto en el punto de inserción del gotero como del conector, con el procedimiento analítico, podría usarse para predecir, con precisión razonable, el resultado del riego en una unidad de goteo en campo, lo que facilitaría la interpretación de los datos de evaluación de dichas unidades.

LISTA DE SÍMBOLOS

Los siguientes símbolos han sido usados en este trabajo:

- C_c = coeficiente de contracción del flujo en el conector;
 C_d = coeficiente de déficit;
 C_u = coeficiente de uniformidad de Christiansen;
 CV = coeficiente de variación;
 CV_m = coeficiente de variación de fabricación del gotero;
 D = diámetro interior de la tubería porta-ramales;
 f = fracción de superficie de suelo suficientemente mojada;
 g = aceleración de la gravedad ;
 h = altura de presión;
 hf = pérdidas de carga en la tubería porta-ramales;
 hf_r = pérdidas de carga en el ramal;
 hf_s = pérdidas de carga localizadas;
 hf_u = pérdidas de carga en los tramos uniformes de tubería entre ramales;
 K = coeficiente de pérdidas de carga localizadas en la inserción del conector;
 L = longitud de la tubería porta-ramales ;
 l_c = longitud equivalente de la inserción de conector ;
 Q_o = caudal de la tubería porta-ramales;
 q = caudal del gotero;
 R_{ap} = rendimiento potencial de la aplicación del agua en la unidad de goteo;
 r = relación entre las secciones de paso del agua en el punto de inserción con la de la tubería;
 s = separación entre ramales;
 U = velocidad del flujo en la sección de aproximación del conector;
 U_c = velocidad del flujo en la sección de contracción del conector;
 α = parámetro geométrico para caracterizar el aerodinamismo de la inserción;
 ν = viscosidad cinemática del agua;
 ω = área de la sección de paso del flujo; y
 ω_c = área de la sección contraída de paso del flujo.

Subíndices

- e = experimental; ensanchamiento brusco;
 g = gotero;
 L = cola;
 o = cabeza;
 p = predicción; y
 r = ramal.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a la *Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología* (CICYT) por su apoyo a través del Proyecto N°. AGL00-1366.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Juana L., L. Rodríguez-Sinobas y A. Losada. (2002a). Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology. *J. of Irrig. and Drain. Eng.* (ASCE) 128 (6): 376-384.
- Juana L., L. Rodríguez-Sinobas y A. Losada. (2002b). Determining minor head losses in drip irrigation laterals. II: Experimental study and validation. *J. of Irrig. and Drain. Eng.* (ASCE) 128 (6): 385-396.
- Merriam, J.L y J. Keller. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Dept. Agric. Irrig. Eng. Dept. Utah State Univ. State., Logan pgs. 271.
- Von Mises, R. (1973). Berechnung von ausfluss und überfallzahlen. Citado en *Discharge measurement structures*, 1990. ILRI Publicación n° 20.