

# Caracterización hidráulica de ramales y sistemas de riego por goteo

Chamba, D.<sup>a1</sup>, Zubelzu, S.<sup>a2</sup>, Juana, L.<sup>a3</sup>

<sup>a1</sup>Universidad Politécnica de Madrid, (UPM), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAB), Avenida Puerta del Hierro 2, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, E-mail: <sup>a1</sup>diego.chambaz@alumnos.upm.es, <sup>a2</sup>sergio.zubelzu@upm.es, <sup>a3</sup>luis.juana@upm.es

Línea temática | B. Usos y gestión del agua

---

## RESUMEN

### Introducción

El riego por goteo está experimentando un gran crecimiento en la mayoría de los países del mundo. Los sistemas proyectados usan materiales plásticos, fundamentalmente, polietileno cuyas características van evolucionando con el tiempo (Provenzano et al., 2014). Como consecuencia, un aspecto de interés es conocer cómo evolucionan y, para ello, es necesario la realización de evaluaciones en campo. En este trabajo, se incide asimismo en la idea de que los métodos de evaluación en campo no se deben quedar simplemente en hacer estimaciones del uso del agua, sino que deben permitir evaluar los valores actuales de los parámetros que sirvieron para el proyecto de las instalaciones y, en función de ellos, tomar decisiones. Por ello, se analizan y proponen métodos de evaluación para determinar en campo las características hidráulicas de los emisores y de las tuberías de un sistema de riego por goteo.

El ensayo de ramales en laboratorio, bajo condiciones de control más rigurosas que las que se pueden aplicar en campo, es un paso intermedio que facilita la selección y comprobación de métodos. El problema es que en el campo no siempre se dispone de la flexibilidad que se tiene en laboratorio para modificar las variables. Esta situación, seguramente, puede resolverse realizando ensayos “*ad hoc*”, pero sus resultados estarían demasiado condicionados por las propias instalaciones y a la pericia y conocimientos del técnico que los conciba, realice e interprete (Losada, et al. 1995; Juana, et al., 2007). Es por ello, que es de interés concebir ensayos que puedan realizarse en la mayor parte de las instalaciones y establecer y seleccionar métodos para su interpretación.

Como consecuencia, el objetivo general de este estudio fue evaluar procedimientos que permitan caracterizar hidráulicamente el comportamiento de goteros, ramales y tubería porta-ramales en unidades de riego por goteo en campo, así como valorar su precisión y aplicabilidad. Como objetivos específicos se plantearon: (1) Determinar en laboratorio la curva de gasto del gotero y el coeficiente de variación de manufactura en ensayos de ramales con diferentes presiones de operación y comparar los resultados con los obtenidos en los ensayos normalizados ISO. (2) Determinar y caracterizar en laboratorio las pérdidas de carga totales y las localizadas con los parámetros de longitud equivalente  $le$  y del coeficiente  $K$ , en ramales normales y abiertos en cola. (3) Determinar experimentalmente en campo la uniformidad de riego, la curva de gasto y el coeficiente de variación de manufactura de goteros e interpretar la distribución de presión y los parámetros característicos de las pérdidas de carga total y localizadas en una unidad de riego. (4) Propuestas de funcionamiento de la unidad en cuanto a presión de funcionamiento y tiempos de riego por unidad de lámina acordes a los resultados obtenidos.









### Metodología

En laboratorio, se han ensayado ocho ramales (cuatro con emisores compensantes y otros cuatro con emisores no compensantes) cuyas características se pueden observar en la Tabla 1, trabajando a diferentes presiones, en un rango más amplio

que el normalmente usado en las instalaciones de campo. En campo, se evaluó en una unidad de riego con goteros compensantes, igualmente trabajando en un amplio rango de presiones en la entrada.

La Tabla 1 muestra el valor del diámetro nominal  $D_n$ , la separación  $s$ , el caudal nominal  $q_n$ , el espesor  $e$ , el valor promedio del diámetro interno  $D_i$  y los coeficientes  $k$  y  $x$  de la ecuación de descarga ( $q=k \cdot h^x$ ). Por otra parte, puede observarse la sección transversal con la presencia del gotero, que ha permitido determinar la sección ocupada por el gotero  $\omega_g$  y, con ello, la reducción de sección provocada por él. En particular, se han medido las dimensiones de los goteros: la longitud  $L_g$ , ancho  $a_g$  y profundidad  $h_g$ .

**Tabla 1** | Características geométricas e imágenes de los emisores analizados.

ID	Sección transversal / longitudinal	$D_n$ (mm)	$s$ (m)	$q_n$ (l/h)	$e$ (mm)	$D_i$ (mm)	$k$	$x$
A		16.00	0.75	2.30	1.02	14.0	2.3	0
A2		16.00	0.50	1.60	1.03	14.0	1.6	0
B		16.00	0.50	1.00	1.00	14.0	1	0
B2		16.00	0.60	1.60	1.00	14.0	1.6	0
C		16.00	0.75	2.15	0.9	14.2	0.71	0.49
C2		16.00	0.50	1.55	0.9	14.2	0.5	0.49
D		16.20	0.30	1.50	1.01	14.2	0.52	0.46
D2		16,00	0,20	1,00	0,90	13,95	0,46	0,347

En el laboratorio, para determinar el coeficiente de variación y la curva de gasto de los emisores, se han ensayado una muestra de 24 goteros de cada uno de los ramales siguiendo un procedimiento similar al normalizado ISO (2004). En el banco de ramales, de una muestra de longitud de 100 m de cada tubería tendida a nivel, se pudo obtener además de las pérdidas de carga, y la curva de gasto. En algunos ensayos también el coeficiente de variación, en este caso, midiendo el volumen desaguado en 25 goteros, de 5 emisores consecutivos localizados en 5 distancias  $f=x/L=0.084, 0.313, 0.5, 0.687$  and  $0.916$ , sugerido por Juana et al. (2007).

También se pudo determinar las pérdidas de carga localizadas por la forma geométrica de los emisores y de la tubería que se producen en la inserción de los emisores a lo largo de los ramales. Se utilizaron los procedimientos recomendado por Juana et al. (2002), que se basan en la derivación del teorema de Belanger (o la ecuación de Borda), para estimar el coeficiente de fricción  $K$  y la longitud equivalente  $le$  de los emisores, los resultados estimados son comparados con los parámetros observados en los experimentos realizados en el banco de ramales. Para obtener las características geométricas se midieron los diámetros externos  $D_e$  (mm), diámetro interno  $D_i$  (mm) y el espesor  $e$  (mm) de cada tubería en puntos diferentes a los dos ejes ortogonales, horizontal y vertical, con un calibrador digital con precisión de  $\pm 0.01$  mm, para evitar errores sistemáticos, se midieron cinco veces, considerando así el valor promedio. Para obtener el área que ocupan el gotero en la tubería, se realizaron cortes transversales muy

finos en la tubería con emisores, luego se procedió a escanear en una resolución 250 dpi y se calculó sus dimensiones con la ayuda del programa AutoCAD19.

Los ensayos de campo se realizaron en una unidad de riego en los campos de prácticas, coordenadas 40°26'33.2"N, 3°43'43.5"W. La unidad está compuesta por una tubería porta-ramales de PE de 50 mm de diámetro exterior que alimenta a un conjunto de 17 ramales, separados 2.5 m, que totalizan 42.5 m de longitud, si bien, tiene al final un tramo ciego de 29.5 m, para futuras ampliaciones, donde se localiza su extremo. Los ramales son de 16 mm de diámetro exterior con goteros compensantes de  $q = 2.3$  l/h, separados a 0.50 m y una longitud de 44 m. Los puntos de medida de la tubería principal ( $y/L_t = 0.102, 0.407, 0.593$  and  $0.898$ ) y los ramales ( $x/L_r = 0.102, 0.407, 0.593$  and  $0.898$ ) fueron seleccionados de acuerdo con Juana et al (2007), para la adecuada representación y media y varianza. El caudal de dos emisores consecutivos se midió en cada punto del ramal, dando un total de 32 emisores, con los que se determinó la curva de gasto y coeficiente de variación en campo.

## Resultados

Los resultados muestran que es posible determinar la curva de gasto y coeficiente de variación de manufactura del emisor con una precisión similar a la que se obtiene con el método normalizado, presentando la ventaja de ser más representativos y poder aplicarse en las instalaciones reales. En los goteros compensantes el rango de compensación coincidió con el aportado por el fabricante, si bien el caudal fue algo más elevado. Para los goteros compensantes, parece adecuada la propuesta de considerar una curva de gasto tipo orificio hasta el extremo inferior del rango de compensación y un gasto constante por encima de este.

Para los goteros no compensantes parece viable de esta manera asimilar a una curva de gasto tipo orificio, con exponente  $x = 0.5$ , salvo para casos muy específicos. En todos los goteros ensayados el coeficiente de variación de manufactura se mostró independiente de la presión y relativamente bajos, todos por debajo de 0.04.

En cuanto a la caracterización de las pérdidas de carga localizadas, el parámetro  $le$ , de longitud equivalente de tubería, presentó unos valores más independientes del flujo que el coeficiente  $K$ , que multiplicaría al sumando cinético. En todos los ramales se produjo un pequeño efecto de histéresis con mayores valores de las pérdidas de carga en una primera fase con caudal ascendente que en la posterior con caudal descendente. Para la determinación de  $le$  o  $K$ , en ramales con goteros compensantes es conveniente realizar ensayos con el extremo final abierto. En goteros no compensantes suele servir con hacer varios ensayos con presiones diferentes.

Los resultados de la estimación de pérdidas locales obtenidas por las características geométricas fueron algo menores a los obtenidos en los ensayos de ramales, pero se considera un concepto válido que permiten obtener una estimación aproximada de pérdidas de carga  $hf$ . La diferencia puede deberse por una parte a que los  $K$  así determinados serían los correspondientes a la turbulencia completa y  $K$  suele tener una tendencia decreciente con el número de Reynolds, por otra parte, en los ensayos se asignan a las pérdidas de carga localizadas aspectos que pueden deberse a ovalación de la sección transversal, algunas magulladuras, falta de alineación de la tubería y pérdidas de carga en la conexiones (Juana, et al., 2002; Lorenzo Díaz & Juana, 2010).

En cuanto a las unidades de campo, la curva de gasto del gotero y su coeficiente de variación se pudieron caracterizar bien a partir de ensayos con distintas presiones en cabeza. La determinación de las pérdidas de carga y, en particular, los parámetros de las pérdidas de carga localizadas resultaron algo más complejos y con menor precisión, por las pequeñas pérdidas de carga existentes. La apertura de ramales en cola redujo la incertidumbre. Las menores posibilidades para actuar en la tubería porta-ramales y las características específicas de ésta, establecieron que en ella los parámetros se determinaran con mayor precisión. Los ensayos propuestos permiten también caracterizar la respuesta hidráulica y del riego.

## Conclusiones

Entre las principales conclusiones del estudio podemos señalar: que los ensayos de ramales en laboratorio permitieron determinar con precisión la curva de gasto y el coeficiente de variación de manufactura de los goteros. Los valores obtenidos en

los ramales resultaron similares a los obtenidos por el método normalizado, pudiendo ser más representativos al representar mejor las condiciones de flujo e incluir un mayor número de goteros.

En lo que se refiere a la consideración de las pérdidas de carga un valor correspondiente a unas condiciones de referencia de caudal y longitud dadas, puede ser operativo para los fabricantes. No obstante, para el estudio hidráulico es preferible un parámetro que estime las pérdidas de carga localizadas. En este sentido, el parámetro de longitud equivalente  $le$  parece preferible al coeficiente  $K$  que multiplica al sumando cinético. Los valores de  $le$  presentan una menor dependencia respecto al caudal circulante, por comparación con el coeficiente  $K$ , que tiene una tendencia decreciente con el incremento del flujo.

En goteros no compensantes, una mayor generalización del exponente  $x = 0.50$ , salvo para casos muy específicos, puede tener efectos simplificadoros positivos. De esta manera, la curva de gasto quedaría únicamente definida por el caudal nominal. En goteros compensantes, la presión nominal podría ser sustituida por la presión mínima del rango de compensación, suponiendo un caudal constante igual al nominal por encima y un desagüe tipo orificio por debajo.

Los experimentos indican que tanto los criterios de  $K$  como  $le$ . La precisión en la determinación experimental de  $K$  y  $le$  dependen significativamente de los errores de medición que se pudiesen presentar por la morfología de los emisores y en la toma de datos y mediciones en ramales, o también a la limitada contracción de las líneas de flujo producidas por la forma más delgada y plana de estos emisores, sobre todo en los goteros no compensantes.

La estimación de las pérdidas de carga por las características geométricas mostró una estimación razonable, los valores resultantes del coeficiente  $K$  y  $le$ , fueron generalmente algo menores que los obtenidos en los ensayos de ramales de goteo.

Los ensayos en la unidad de riego han permitido la determinación de la curva de gasto y el coeficiente de variación de manufactura, así como una razonable estimación de las pérdidas de carga localizadas en ramales y tubería porta-ramales. Asimismo, se ha podido caracterizar la respuesta del caudal medio y de la uniformidad a la presión del trabajo. Si bien, en campo, es necesario extremar el control de los ensayos, así como, en ocasiones, elegir condiciones de funcionamiento favorables de la red.

---

## AGRADECIMIENTOS

Diego Chamba agradece a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y al Instituto de Fomento al Talento Humano, del Gobierno de la República de Ecuador, por la adjudicación de la beca N° 2015-AR7L7871, para estudio de doctorado.

---

## REFERENCIAS

ISO (International Organization for Standardization). 2004. ISO 9261:2004. Agricultural irrigation equipment – Emitters Specification and test methods. Geneva, Suiza.

Juana L., Rodríguez Sinobas L., Losada A. 2002. Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology, and II: Experimental Study and Validation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* ASCE 128 (6), 376-384, 385-396.

Juana L, Rodríguez Sinobas L., Sánchez, R., Losada, A. 2007. Evaluation of drip irrigation: Selection of emitters and hydraulic characterization of trapezoidal units. *Agricultural Water Management*, 90: 13-26.

Lorenzo, D., y Juana, L. (2010), Alternativas para una norma sobre pérdidas de carga en tuberías emisoras. Presentación y elaboración de resultados. *XXVII Congreso Nacional de Riegos*, León.

Losada, A., Juana, L., & Martínez, J. 1995. Caracterización de riegos por goteo. *Ingeniería del agua*, 2 (2), 7-16.

Provenzano, G., Di Dio, P., & Leone, R. 2014. Assessing a Local losses evaluation procedure for low-pressure lay-flat drip laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1–7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000731](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000731).