



## C-04

## DISEÑO DE UNA NUEVA CREPINA PARA REDUCIR LA CAÍDA DE PRESIÓN EN FILTROS DE ARENA

*Bové, J. (1)(P); Puig-Bargués, J. (2); Arbat, G. (3); Duran-Ros, M. (4); Pujol, T. (5); Pujol, J. (6); Ramírez de Cartagena, F. (7)*

<sup>1</sup> Investigador en formación, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, josep.bove@udg.edu

<sup>2</sup> Profesor Titular de Universidad, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, jaume.puig@udg.edu

<sup>3</sup> Profesor Agregado Interino, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, gerard.arbat@udg.edu

<sup>4</sup> Profesor Agregado Interino, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, miquel.duranros@udg.edu

<sup>5</sup> Profesor Agregado, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, toni.pujol@udg.edu

<sup>6</sup> Profesor Agregado, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, joan.pujol@udg.edu

<sup>7</sup> Profesor Titular de Universidad, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, francisco.ramirez@udg.edu

### Resumen

La filtración es necesaria para evitar la obturación de los emisores, que es el principal problema del riego por goteo. Sin embargo, los filtros necesitan presiones elevadas que están relacionadas con un mayor consumo energético. Estudios anteriores han mostrado que la caída de presión en los filtros de arena, considerados como los estándares en riego por goteo, se localiza principalmente en el drenaje. El principal objetivo del trabajo fue diseñar un nuevo modelo de crepina que redujera la caída de presión en el filtro. Esta nueva crepina tiene mayores pasajes a la salida del drenaje, está rodeada con un medio granular de mayor conductividad hidráulica y modifica la curvatura del flujo por encima de la crepina. La nueva crepina fue construida y ensayada en condiciones de filtrado y contralavado, con y sin medio filtrante, en un filtro de laboratorio escalado a partir de un filtro comercial. Esta nueva crepina redujo considerablemente la caída de presión con respecto al diseño comercial. Se desarrolló también un modelo CFD para analizar con detalle las zonas donde se consigue la reducción observada.

### Abstract

Filtration is mandatory for preventing emitter clogging, which is the main drawback of microirrigation. However, microirrigation filters have high pressure requirements, which in turn are related to higher energy consumption. Previous studies have shown that pressure loss in sand media filters, which are usually considered the standard for microirrigation, are mainly located in the filter underdrain. The main objective was to design a new underdrain that could reduce sand media filter pressure drop. The new underdrain has wider passages to the underdrain outlet, is surrounded with a granular medium with higher hydraulic conductivity and it modifies the flow curvature above the underdrain. The new underdrain was built and tested under filtration and backwashing conditions and with and without filter bed using a laboratory filter which was scaled from a commercial filter. The new underdrain considerably reduced pressure loss compared with a commercial filter. A CFD model was

developed for further study those filter areas where the underdrain achieved a higher reduction of pressure drop.

## 1. Introducción. Objetivo del trabajo

El riego por goteo es el sistema de riego más extendido en España, puesto que se utiliza en el 49% de la superficie agrícola de regadío (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). La adopción de sistemas de riego presurizados como el riego por goteo y por aspersión que se ha producido en los últimos años dentro del programa de modernización de regadíos españoles, ha permitido reducir el uso de agua por hectárea en un 15% entre 1990 y 2007 pero, en cambio, ha incrementado el consumo de energía por m<sup>3</sup> en un 69% en el mismo periodo (Corominas, 2010).

La filtración es necesaria para evitar la obturación de los emisores en las instalaciones de riego por goteo y garantizar así un correcto funcionamiento de las mismas (Ayars et al, 2007). Los filtros de arena son uno de los filtros más utilizados en riego puesto que son los más indicados cuando se utilizan aguas de peor calidad puesto que suelen conseguir mayores reducciones de los sólidos potencialmente obturadores de los goteros (Duran-Ros et al., 2009). Sin embargo, estos filtros presentan unos requisitos de presión que son muy superiores a los de los emisores (Burt, 2010), por lo que inciden muy directamente en el consumo energético de las instalaciones de riego por goteo. Por lo tanto, si se quiere reducir el consumo energético en estos sistemas de riego, disminuyendo a la vez el coste eléctrico para el agricultor, uno de los principales puntos de actuación sería desarrollar filtros que necesitasen menor presión. Diversos autores (Burt, 2010; Arbat et al., 2013; Bové et al., 2015c) han analizado la caída de presión en los distintos elementos de los filtros de arena, comprobando que es en los drenajes o crepinas del fondo de los mismos donde se produce una mayor reducción de la presión, por lo que es el primer punto dónde incidir. La caída de presión en el drenaje de salida se incrementa con la velocidad superficial de filtración, como señalaron diversos autores (Bové et al., 2015c; Burt, 2010; Mesquita et al., 2012) que estudiaron diferentes diseños de drenaje.

Mediante el uso de la técnica de dinámica de fluidos computacional (CFD), Arbat et al. (2011) hallaron que la caída de presión en el drenaje del filtro se debía a la aceleración del fluido al atravesar el drenaje y a la curvatura del flujo hidráulico dentro del medio de filtración al aproximarse al drenaje. Bové et al. (2015c), utilizando esta misma técnica, señalaron diversos puntos en los que se podía intervenir para reducir la caída de presión en el drenaje.

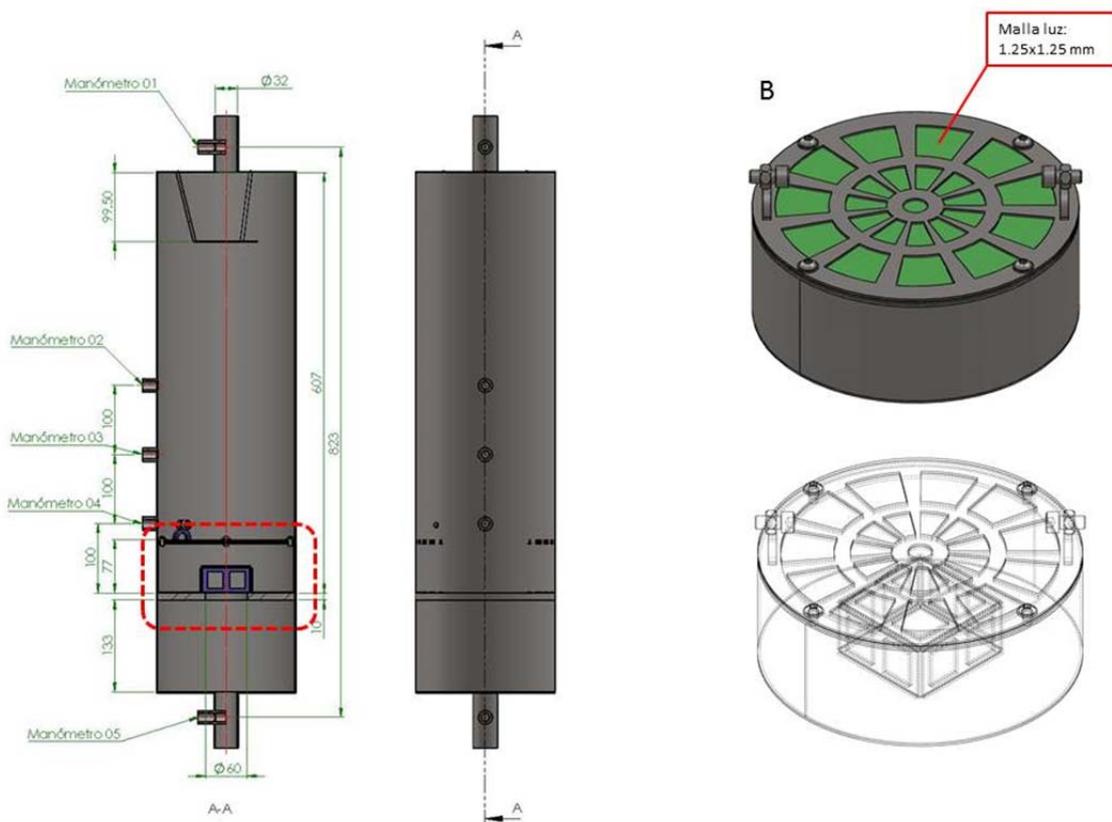
El objetivo del presente trabajo ha sido el de diseñar, construir y verificar experimentalmente un nuevo modelo de crepina para filtros de arena que permita reducir la caída de presión.

## 2. Material y métodos

Se diseñó y construyó un nuevo modelo de crepina (Figura 1) para un filtro de laboratorio escalado a partir de uno comercial (Arbat et al., 2013) considerando las sugerencias de Bové et al. (2015c). En concreto, se incrementó la sección de salida del drenaje, se recubrió el drenaje con vidrio reciclado triturado previamente tamizado a un tamaño de partícula entre 0,85 y 1,50 mm para que tuviese mayor conductividad hidráulica que el resto del medio filtrante formado por arena silíceo, tamizada entre 0,63 y 0,75 mm, y se modificó la disposición de las aperturas en el drenaje para no afectar tanto las líneas de flujo hidráulico. Las características físicas e hidráulicas de ambos medios y granulometrías

se determinaron en un trabajo anterior (Bové et al., 2015b). Para retener el vidrio triturado dentro de la crepina las aperturas de esta se recubrieron con malla de acero inoxidable de 1,25x1,25 mm de luz.

Para poder determinar la caída de presión a lo largo del filtro experimental, se dispusieron manómetros digitales (Figura 1) con una precisión de  $\pm 0,01$  kPa en 5 posiciones distintas: en la tubería de entrada, en 3 alturas del medio filtrante y en la tubería de salida. El filtro operó con agua de red procedente de un depósito a partir del cual se bombeó con una bomba centrífuga (Figura 2), a la salida de la cual se ubicó un caudalímetro electromagnético de  $\pm 0,05$  m<sup>3</sup>/h de precisión para determinar el caudal circulante y poder calcular la velocidad superficial de filtración. Aguas abajo, se dispuso una válvula de compuerta para ajustar el caudal y 2 válvulas de bola, ubicadas a la entrada y salida del filtro, respectivamente, para regular la presión.

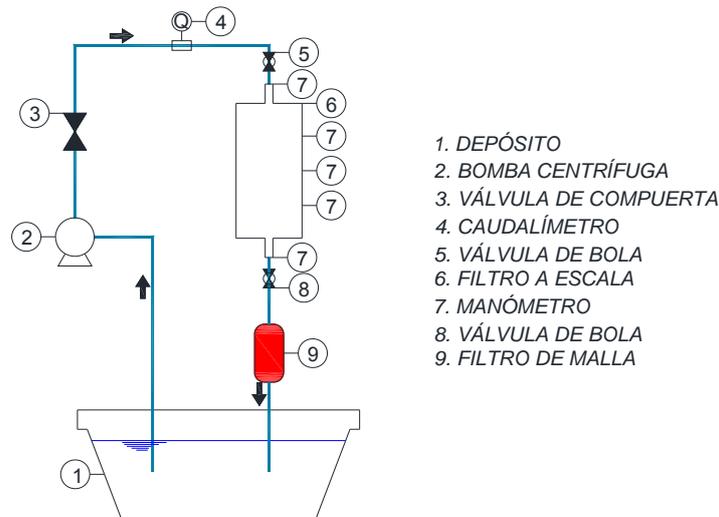


**Figura 1.** Filtro de laboratorio escalado con el nuevo diseño de crepina y su vista isométrica (B). Dimensiones en mm.

En la instalación experimental (Figura 2) se realizaron pruebas en régimen de filtración y de contralavado, sin medio filtrante y con medio filtrante de 300 mm de altura. Cada experimento se repitió 3 veces. En cada repetición, se evaluó el funcionamiento del filtro trabajando a 12 velocidades de filtración distintas entre los 0,003 y los 0,030 m/s.

Con la intención de mejorar la comprensión del funcionamiento de la nueva crepina, se desarrolló un modelo tridimensional mediante CFD. Este modelo se comparó con otro

desarrollado con anterioridad (Bové et al., 2015c) para la crepina comercial del filtro que se utilizó para escalar el filtro de laboratorio.

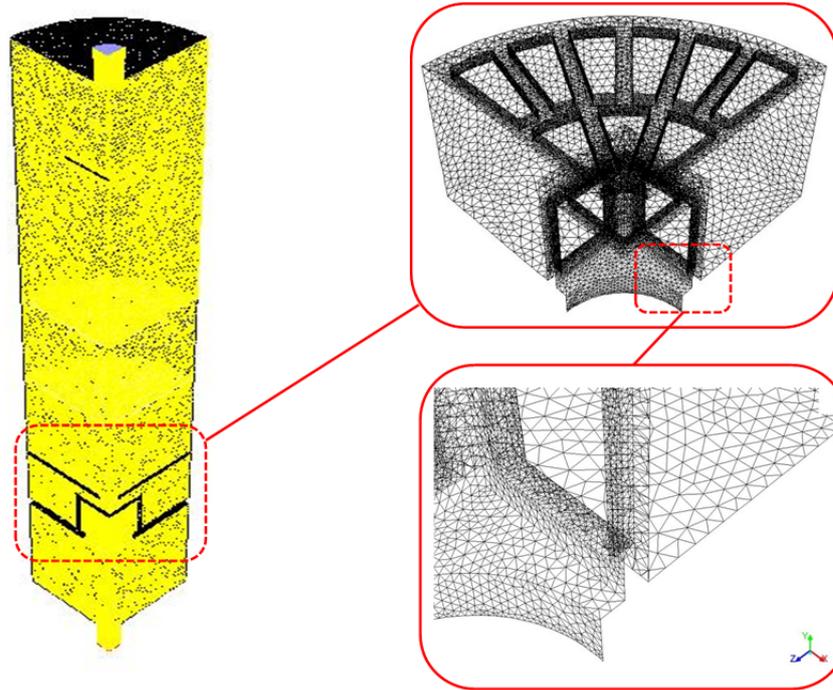


**Figura 2.** Esquema de la instalación experimental.

Se utilizaron los códigos ANSYS ICEMCFD para dibujar y mallar el modelo y ANSYS Fluent para resolverlo. El modelo desarrollado constaba de una malla tridimensional que representaba un cuarto del filtro con un plano de simetría XY y otro en el plano YZ (Figura 3), lo que permitió disminuir el número total de elementos del modelo y reducir así el tiempo de cálculo. La malla estaba formada por 1.391.082 elementos y, como tenía los 2 planos de simetría, la geometría del filtro se discretizó en 5.564.328 elementos. Para una correcta caracterización del nuevo diseño, las aperturas internas de la nueva crepina se discretizaron en celdas de una longitud máxima de 0,50 mm. El resto del dominio del drenaje se discretizó con celdas de, como máximo, 1 mm de longitud. En cambio, para el área más ancha del cuerpo del filtro, fue suficiente utilizar celdas de una longitud máxima de 5 mm. Para verificar la idoneidad de la malla definida, el modelo fue ejecutado con otras 2 mallas con un grosor que se incrementó con un factor de 2,2 con respecto a la malla definida anteriormente para analizar la robustez del modelo. Para un valor determinado de velocidad, las caídas de presión obtenidas con las 3 mallas se diferenciaron en menos del 1%, por lo que se consideró que la malla descrita cumplía satisfactoriamente.

Se simularon dos condiciones operacionales del filtro para comparar el funcionamiento hidráulico del nuevo diseño de crepina con el diseño comercial de referencia. En la primera, se consideró un régimen de filtración sin medio filtrante, mientras que la segunda consistió en un régimen de filtración con un medio filtrante de 300 mm de altura (posición del manómetro 2 de la Figura 1) formado por arena silíceas de un tamaño de partícula entre 0,63 y 0,75 mm. La operación de contralavado sólo se simuló en condiciones de ausencia de medio filtrante, porque la expansión del lecho filtrante no se consiguió modelar con precisión en el modelo desarrollado.

El modelo desarrollado se ejecutó con el código ANSYS-Fluent, el cual dispone de distintos modelos para representar la turbulencia. En este caso, se utilizó el modelo k- $\epsilon$  con valores de la constante  $C_{\epsilon_2} = 1,9$ , un número efectivo de Prandtl para el transporte de la energía cinética turbulenta TKE-Prandtl = 1,0, un número efectivo de Prandtl para el transporte del nivel de disipación de la turbulencia TDR-Prandtl = 1,2, una intensidad de turbulencia = 5% y un valor del cociente entre la viscosidad turbulenta y la viscosidad molecular igual a 10 en la entrada del filtro.



**Figura 3.** Dominio de flujo simulado (un cuarto de la sección del filtro; izquierda) y malla del elemento de drenaje (derecha superior, con detalle en la derecha inferior).

Los factores de viscosidad y de inercia de cada medio granular se definieron de acuerdo con la Guía del Usuario de ANSYS-Fluent (ANSYS, 2009). La ecuación (1) es la que utiliza ANSYS Fluent para calcular la caída de presión en un medio poroso. La ecuación (1) es equivalente a la ecuación de Ergun, que ha mostrado un buen nivel de predicción de la caída de presión en distintos tipos de medios filtrantes (Bové et al., 2015a).

$$\text{---} \text{---} \text{---} \quad [1]$$

Siendo  $\Delta p/\Delta L$  la caída de presión por unidad de longitud del medio filtrante (Pa/m);  $1/\alpha$  es el factor viscoso del medio filtrante ( $1/m^2$ );  $\mu$  es la viscosidad del fluido (Pa·s);  $v$  es la velocidad de filtración superficial (m/s);  $C_2$  es el factor inercial del medio ( $1/m$ ); y  $\rho$  es la densidad del fluido ( $kg/m^3$ ). Los valores utilizados en la modelización se indican en la Tabla 1, los valores para el vidrio reciclado incorporan la malla para retener el medio filtrante.

**Tabla 1.** Valores de los parámetros utilizados en la modelización de cada medio.

Parámetro	Medio	
	Arena silícea	Vidrio reciclado
Porosidad (%)	42,2	42,7
$C_2$ (1/m)	67.809	49.944
$1/\alpha$ ( $1/m^2$ )	1.426.866.416	794.666.385

Las condiciones de contorno para la modelación fueron un caudal de 0,5 l/s (que se corresponde con una velocidad superficial de filtración de 0,016 m/s) y una presión a la salida del filtro de 50 kPa. De esta forma, se aseguraba que no se generaban zonas con una presión excesivamente baja en los puntos donde el agua alcanzaba mayor velocidad.

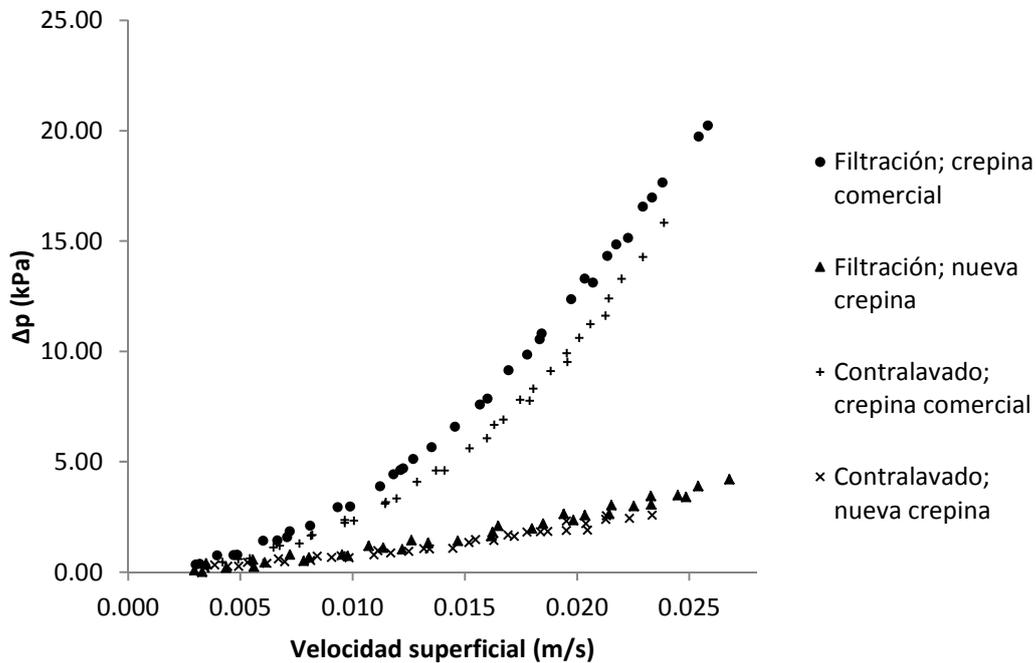
Además, se realizaron 12 simulaciones para cada diseño de crepina (comercial y nueva) con el mismo rango de velocidad superficial de filtración (0,003 – 0,030 m/s) en el que se realizaron los experimentos de laboratorio descritos anteriormente. Al proceder de esta forma, se pudieron comparar los resultados modelados con los simulados utilizando el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970):

[2]

Siendo NSE el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (adimensional);  $O_i$  el valor experimental de la caída de presión (Pa);  $P_i$  el valor predicho de la caída de presión (Pa);  $O$  la caída de presión experimental media (Pa); y  $N$  el número de observaciones.

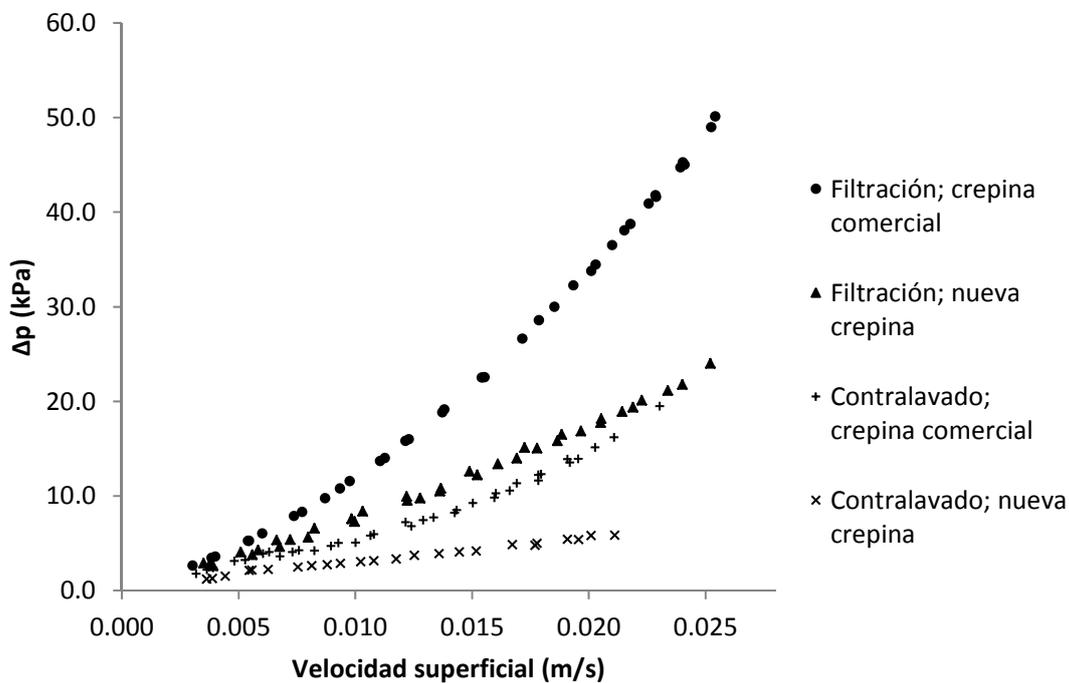
### 3. Resultados y discusión

La caída de presión con respecto la velocidad de filtración superficial del nuevo diseño de crepina en comparación con el diseño comercial en las condiciones de filtrado y contralavado sin medio filtrante, se muestra en la Figura 4. La caída de presión que se produjo con el nuevo diseño de la crepina se redujo, con respecto al filtro con el diseño comercial de crepina, en un 50% para las menores velocidades superficiales de filtración (<0,01 m/s) y en más del 80% para las mayores velocidades superficiales de filtración (>0,02 m/s). Las mismas magnitudes de reducción de la caída de presión se observaron en condiciones de contralavado sin medio filtrante.



**Figura 4.** Caída de presión en el conjunto del filtro con la crepina comercial y el nuevo diseño de crepina en condiciones de filtración convencional y contralavado sin medio filtrante.

Cuando se introdujo un medio filtrante de arena silíceica de tamaño de partícula entre 0,63 y 0,75 mm y 300 mm de altura, la caída de presión producida con el nuevo diseño de crepina fue también inferior a la observada con el drenaje comercial (Figura 5). En este caso, las reducciones de caída de presión fueron del 20% para velocidades superficiales de filtración inferiores a 0,01 m/s y del 45% para las que superaron los 0,02 m/s. Estas disminuciones de caída de presión fueron inferiores a las observadas cuando no se dispuso medio filtrante. En condiciones de contralavado, la caída de presión en el filtro fue prácticamente la misma que sin medio filtrante: 50% y 80% para las velocidades superficiales de filtración más pequeñas y mayores, respectivamente. Si se comparan las caídas de presión producidas con el nuevo diseño con datos disponibles en la bibliografía de distintos filtros de arena (Burt, 2010; Mesquita et al., 2012), éstas también son menores con el nuevo diseño.



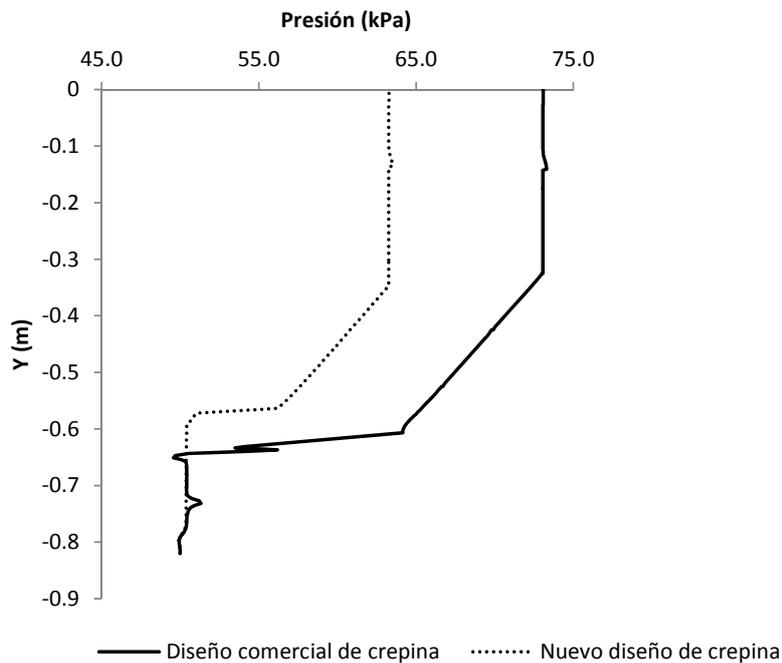
**Figura 5.** Caída de presión en el conjunto del filtro con la crepina comercial y el nuevo diseño de crepina en condiciones de filtración convencional y contralavado con una columna de 300 mm de medio filtrante.

En la Tabla 2 se muestran los valores del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) obtenidos usando la ecuación (2) con los datos experimentales y con los resultados del modelo CFD para la crepina comercial y el nuevo modelo de crepina. Como el NSE fue mayor de 0,9, la capacidad predictiva del modelo fue muy buena, de acuerdo con Ritter y Muñoz-Carpena (2013). Por lo tanto, el modelo desarrollado describe con precisión la caída de presión producida en el filtro.

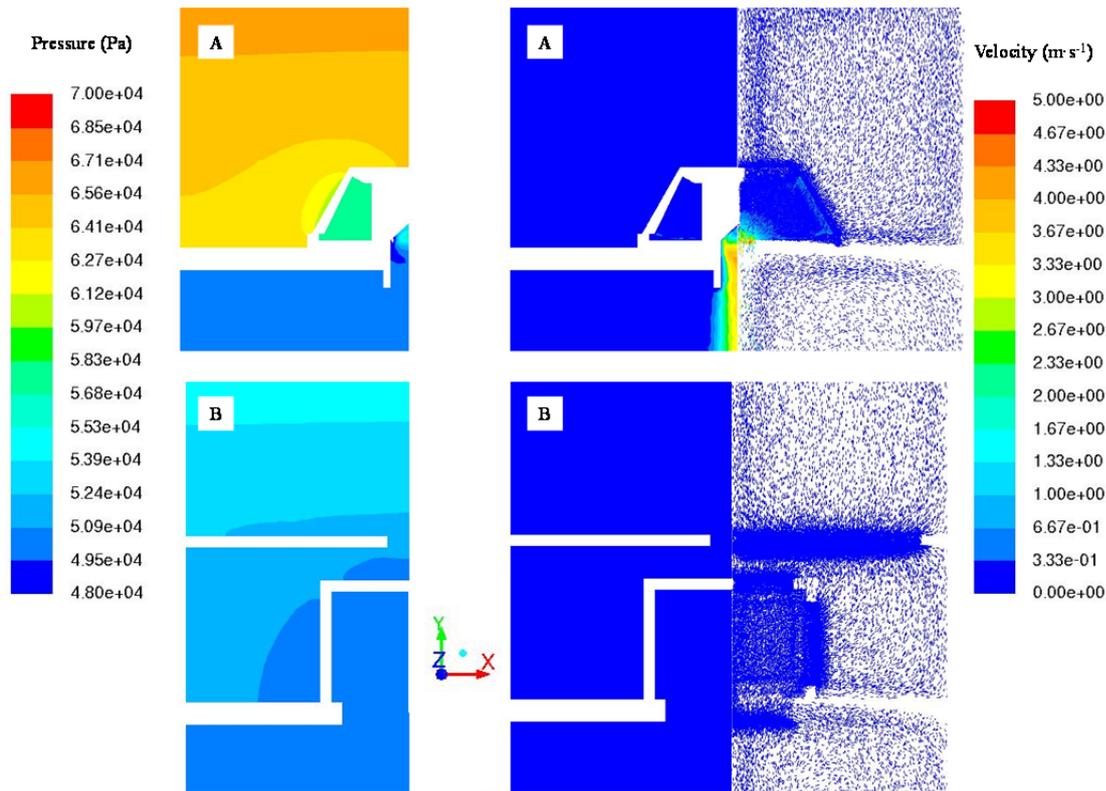
**Tabla 2.** Coeficientes de eficiencia de Nash-Suttcliffe para los datos experimentales y modelados con CFD para los distintos escenarios considerados.

Escenario	Drenaje comercial	Nuevo drenaje
Filtración sin medio filtrante	0,993	0,963
Filtración con medio filtrante de 300 mm de altura con arena silíceea de tamaño de partícula entre 0,63 y 0,75 mm.	0,998	0,997

Una vez validada la capacidad predictiva del modelo desarrollado, éste se utilizó para analizar el perfil de caída de presión a lo largo del filtro. En la Figura 6 se compara la caída de presión a lo largo del filtro en régimen de filtración con un lecho filtrante de 300 mm de altura y un caudal de 0,50 l/s (es decir, con una velocidad superficial de filtración de 0,016 m/s). Se puede observar que la principal caída de presión se produce en la zona del drenaje. El nuevo diseño redujo un 42% la caída de presión con respecto a la crepina comercial. Esta disminución llegó hasta el 80% cuando no se dispuso medio filtrante. La menor caída de presión obtenida con el nuevo diseño se debe a la reducción de la velocidad de paso entre el medio filtrante y la cámara de salida del filtro. En la Figura 7 se muestra la diferencia entre los contornos de velocidad y presión de los dos diseños de crepina comparados.



**Figura 6.** Comparación entre la caída de presión a lo largo del filtro de arena con una crepina comercial y el nuevo diseño de crepina en régimen de filtración con medio filtrante.



**Figura 7.** Contornos de velocidad y presión en la crepina comercial (A) y en el nuevo diseño de crepina (B) operando en filtración con una columna de arena silíceica de 0,63 a 0,75 mm de granulometría con una velocidad superficial de 0,016 m/s y una presión a la salida de 50 kPa.

#### 4. Conclusiones

Se ha diseñado y construido un nuevo modelo de crepina para reducir la caída de presión en los filtros arena y, de esta forma, disminuir los requisitos de presión y el consumo energético asociado a estos filtros ampliamente utilizados en riego por goteo. Las pruebas de laboratorio han confirmado que el nuevo diseño reduce claramente la caída de presión con respecto a un diseño comercial de referencia.

Un modelo utilizando la dinámica de fluidos computacional fue desarrollado y validado con los datos experimentales para identificar las zonas donde el nuevo diseño ejerce su mejora. En concreto, el nuevo diseño redujo la velocidad de paso a la salida del drenaje y redujo también la curvatura del flujo en la zona de aproximación a la crepina. En esta misma zona, al disponer de un medio de mayor conductividad hidráulica, se redujo también la caída de presión por roce en el medio.

Este nuevo diseño de crepina ha sido registrado como el modelo de utilidad U201530629 (Bové et al., 2015b). Con este nuevo drenaje se podría mejorar el funcionamiento de los filtros de arena utilizados en instalaciones de riego por goteo, consiguiendo por tanto una mayor eficiencia en el uso del agua y de la energía.

## 5. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad la concesión de la ayuda para la realización del proyecto de investigación referencia CGL2012-31180.

## 9. Bibliografía

- ANSYS (2009). ANSYS Fluent User's Guide. Canonsburg, PA: ANSYS.
- Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., Montoro, L., Ramírez De Cartagena, F. (2011). Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. *Transactions of the ASABE* 54, 1367–1376.
- Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Montoro, L., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F. (2013). An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management*, 126, 64–74.
- Ayars, J.E., Bucks, D.A., Lamm, F.R., Nakayama, F.S. (2007). Introduction. En: Lamm, F.R., Ayars, J.E., Nakayama, F.S. (Eds.), *Microirrigation for Crop Production*. Amsterdam: Elsevier. 1–26.
- Bové, J., Arbat, G., Duran-Ros, M., Pujol, T., Velayos, J., Ramírez de Cartagena, F., Puig-Bargués, J. (2015a). Pressure drop across sand and recycled glass media used in micro irrigation filters. *Biosystems Engineering*, 137, 55–63.
- Bové, J., Arbat, G., Puig-Bargués, J., Pujol, T., Duran-Ros, M., Ramírez de Cartagena, F., Pujol, J. (2015b). Filtro de matriz granular. Modelo de utilidad U201530629. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Bové, J., Arbat, G., Pujol, T., Duran-Ros, M., Ramírez de Cartagena, F., Velayos, J., Puig-Bargués, J. (2015c). Reducing energy requirements for sand filtration in microirrigation: Improving the underdrain and packing. *Biosystems Engineering*, 140, 67–78.
- Burt, C.M. (2010). *Hydraulics of commercial sand media filter tanks used for agricultural drip irrigation*. San Luis Obispo, CA: Irrigation Training & Research Center, California Polytechnic State University.
- Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua* 17, 219–233.
- Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F. (2009). Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management*, 96, 67.
- Mesquita, M., Testezlaf, R., Ramirez, J.C.S. (2012). The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, 115, 178–185.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10, 282–290.
- Ritter, A., Muñoz-Carpena, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33–45.