

B-01

## CRITERIOS PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE SECTORES DE RIEGO LOCALIZADO

*Martín Larraz, A.<sup>1</sup>(P), Monserrat Viscarrí, J.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidad de Lleida, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, amartinlarraz@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad de Lleida, Departamento de Ingeniería Agroforestal, monserrat@eagrof.udl.cat

### Resumen

En el diseño de sectores de riego, la variación de presión del sector, normalmente se reparte un 50 % en el lateral y 50 % en la terciaria. En este trabajo se analiza el efecto en el coste de la instalación que tiene la fracción de la variación de presión del sector que se permite en el lateral. Para las condiciones analizadas de terreno horizontal y gotero con una presión nominal de 10 m se llega a la conclusión de que el óptimo económico es asignar un 70 % de la variación de presión del sector al lateral y un 30% en la terciaria. Analizando el coste unitario de la instalación en (€/ha) para varios diámetros de lateral y terciaria resulta que el coste mínimo se consigue para el diámetro mínimo de lateral y de terciaria. Se ha creado un gráfico que para una uniformidad dada, permite establecer la superficie máxima del sector, así como las longitudes máximas de los laterales y terciarias y estimar el coste €/ha de la instalación incluyendo la válvula de sector. En todo este estudio, se considera que no se tienen costes energéticos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Habitualmente un sector de riego está formado por una tubería terciaria que alimenta a los laterales que contienen los emisores, que distribuyen el agua por el sector.

Dada una uniformidad de riego y un modelo de emisor determinados, siguiendo la metodología de Keller y Bliesner (1990) podemos calcular la presión mínima del sector y por la ecuación (1) la variación de presión en el sector.

$$\Delta h_s = 2.5 (h_d - h_{min}) \quad (1)$$

$\Delta h_s$  → Variación de presión en el sector

2.5 → Coeficiente obtenido empíricamente

$h_d$  → Presión nominal del emisor

$h_{min}$  → Presión mínima en el emisor para que emita el caudal mínimo

Teniendo en cuenta que  $\Delta h_s = h_{max} - h_{min}$ ,

Por otro lado  $h_{min} = h_{max} - \Delta h_{lat} - \Delta h_{terc}$  y por tanto  $h_{max} - h_{min} = \Delta h_{lat} + \Delta h_{terc}$

Combinando ambas ecuaciones resulta:

$$\Delta h_s = \Delta h_l + \Delta h_t \quad (2)$$

$\Delta h_l$ , variación de presión en el lateral.

$\Delta h_t$  , Variación de presión en la terciaria

La variación de presión del lateral se puede expresar como una fracción de la variación de presión del sector:

$$\Delta h_{lat} = x \Delta h_s \quad (3)$$

Siendo  $x$  la fracción de pérdidas del sector que se aplica al lateral. En la bibliografía (Pizarro, 1990; Rodrigo, 1997) normalmente se asume que  $x = 0.5$  . No obstante otros valores son posibles.

## 2. OBJETIVOS

En el presente trabajo se analiza, para el caso de parcelas llanas, cual es el porcentaje de variación de presión del sector asignada al lateral, para obtener el óptimo económico. Se pretende obtener criterios sencillos que permitan optimizar económicamente el diseño de un sector de riego localizado.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de partida son los siguientes :

- Terreno horizontal
  - Gotero turbulento pinchado, con caudal nominal ( $q_n$ ) 4 l/h, presión nominal ( $h_{nom}$ ) 10 m, Coeficiente de Variación de fabricación ( $CV_{fabricación}$ ) 0,03
  - Separación entre emisores: 1 metro
  - Separación entre laterales: 6 metros
  - D lateral 20mm
  - Uniformidad de Distribución (UD) = 90%

A partir de los datos anteriores aplicando la metodología de Keller y Bliesner (1990), la variación de presión máxima en el sector es de 3,26 mca.

Para ver el efecto de la fracción de la variación de presión que se asigna al lateral ( $x$ ) se han hecho sendos diseños, utilizando el modelo de I.P.Wu (1975) en que se supone que el caudal en el lateral decrece de forma continua desde el origen hasta el final. Los valores de  $x$  ensayados han variado entre 0.1 y 0.9, en incrementos de 0.1. Para cada valor de  $x$  se ha calculado la longitud máxima del lateral, a partir de la ecuación de pérdidas de carga, teniendo en cuenta que la pérdida de carga es igual a la variación de presión ya que el terreno es horizontal.

$$\Delta H_{tot} = F \cdot 0,473 \cdot L \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot \left(1 + \frac{L_e}{S_e}\right) \quad (4)$$

$\Delta h_{tot}$  → Variación de presión total en un sector de riego (m)

F → Factor de Christiansen (adimensional)

L → Longitud del lateral (m)

Q → Caudal a la entrada del lateral (l/s)

D → Diámetro de la conducción (mm)

$L_e$  → Longitud equivalente (m)

$S_e$  → Separación de los emisores (m)

Una vez calculada la Longitud máxima del lateral se calcula utilizando la misma expresión, dado que consideramos la tubería terciaria como si de un lateral se tratase en el sentido que cada lateral es tratado como un emisor. Teniendo en cuenta que la  $\Delta h_{terc} = (1-x)$  es decir que tenemos que considerar en la terciaria la  $\Delta h$  complementaria de la usada para el lateral. De esta manera se obtiene la longitud máxima de terciaria que agota la  $\Delta h_{terc}$  seleccionada y garantiza la UD escogida. Esto se realiza para cada uno de los diámetros de cálculo seleccionados para las terciarias a saber 40 mm, 50 mm, 63 mm, 75 mm y 90 mm. A la hora de calcular el coste de la instalación se considera también el coste de la válvula que controlará el sector.

El método dentro de la hoja de cálculo se traduce en la utilización de la función solver mediante la cual iteramos en la ec. 4, manteniendo como dato fijo el DN de la conducción y como variable la longitud de la tubería, para conseguir el objetivo de la  $\Delta h$  seleccionada.

De manera que para combinación de  $\Delta h_{terc}$  y  $\Delta h_{lat}$  obtenemos unas longitudes para los laterales y para las terciarias, estas longitudes son las máximas que se pueden obtener agotando la  $\Delta h$  para cada una de las tipologías de conducción que por lo tanto agota la  $\Delta h_{sector}$  lo que nos lleva a obtener la superficie máxima que se puede regar manteniendo la UD escogida, esto se realiza para todas las combinaciones expuestas anteriormente.

En la **Tabla 1**, se puede ver el esquema que se ha usado en la hoja de cálculo, la casilla marcada en verde es la que usamos como variable, para obtener en la que está marcada en cian el objetivo que es igual a la X seleccionada en el caso de la tabla 1 un 10%. Aquí obtenemos la longitud máxima que podemos disponer de lateral que garantiza la UD, esta longitud máxima nos permite obtener el  $Q_{tot}$  que es el caudal que necesitamos en cabecera del lateral, y que a su vez es el Q que consideraremos como  $Q_{emisor} = Q_{lateral}$  para la obtención de la longitud máxima de la terciaria.

Longitud	69,61	m
Sep emisores	1	m
Ahtot	3,26	m
Qemisor(l/h)	4,00	l/h
Qtot(l/h)	278,45	l/h
%lat (x)	10	%
%terc (1-x)	90	%
nemisores	70	ud
F	0,364	
AHlat	0,326	m
AHterc	2,937	m
Di(mm)		AHlat
17,5		0,326

De manera análoga a lo expuesto anteriormente se realiza el cálculo para laterales pareados (a ambos lados de la terciaria), teniendo en cuenta únicamente que a la hora de calcular la longitud máxima de la terciaria, se considera el doble del  $Q_{lat}$ .

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizados todos los cálculos se compilan los resultados en tablas resumen donde se exponen los resultados directos e indirectos obtenidos, estos se clasifican para cada  $DN_{lat}$  y dentro de este para cada  $DN_{terc}$ .

A modo de recordatorio, hay que tener en cuenta que en todo este estudio no se han tenido en cuenta costes energéticos asociados a la instalación.

Se elaboran dos tablas de resultados, la primera con los resultados obtenidos considerando que los laterales son alimentados por un extremo, y la segunda con los resultados de considerar el uso de laterales pareados

Estos resultados son representados gráficamente, considerando diferentes combinaciones de las variables estudiadas, y partiendo de la premisa de que no existen costes energéticos asociados a la instalación.

En la Figura 1, observamos la evolución porcentual del coste de implantación €/ha en base la fracción de variación asignada al lateral (x), y para cada uno de los diámetros considerados para las tuberías terciarias, para un lateral DN 20.

Se observa que el coste unitario mínimo de la instalación se consigue con diámetros mínimos de la terciaria (DN 40). Vemos que el valor de x provoca variaciones importantes de coste para el caso de diámetros grandes de terciaria (DN 90,75,y 63), lo cual es debido a que el coste unitario de la tubería es mayor. Para diámetros menores de terciaria (DN 40 y 50) el factor x no tiene mucha influencia en el coste excepto en los valores extremos. Como recomendación general podríamos decir que la fracción de variación de presión recomendable para el lateral es del 70%.

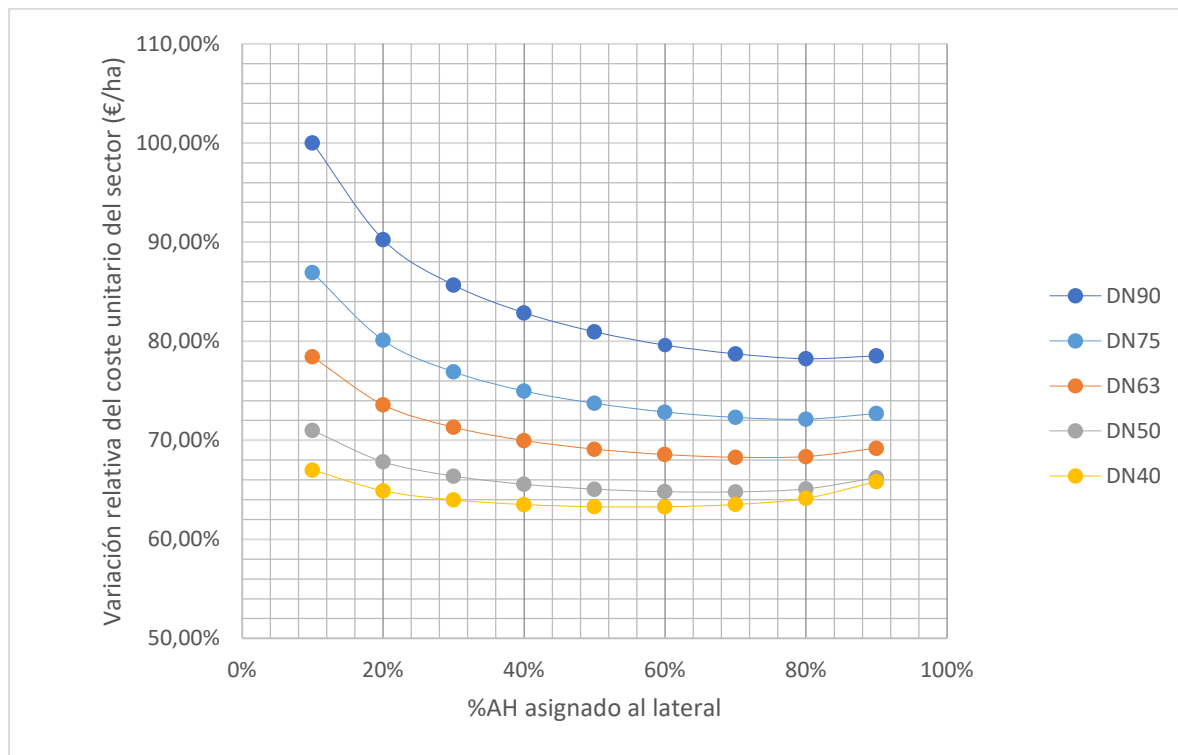


Figura 1. Evolución porcentual del coste unitario del sector (€/ha) en función de la fracción porcentual de pérdidas en el lateral para distintos diámetros de la terciaria (DN), y con válvula a la entrada del sector

En la figura 2 se presentan los resultados de laterales pareados, llegándose a la misma conclusión, que en los laterales alimentados por un extremo,  $x_{\text{óptima}} = 70\%$

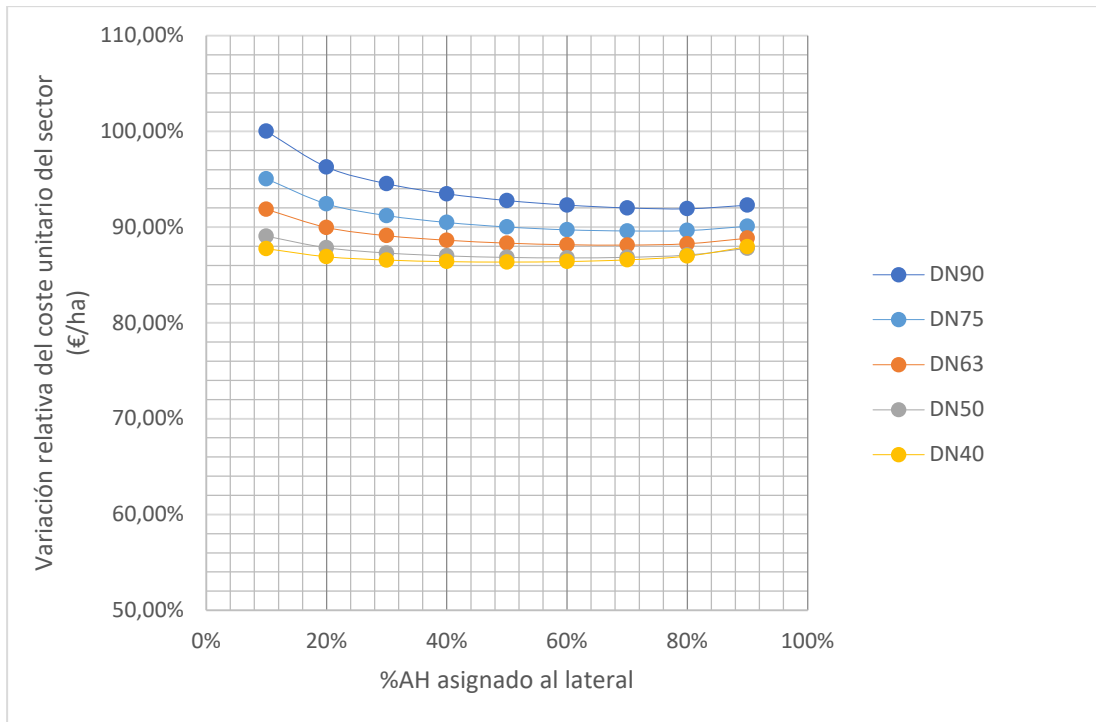


Figura 2. Evolución porcentual del coste unitario del sector (€/ha) en función de la fracción porcentual de pérdidas en el lateral para distintos diámetros de la terciaria (DN), y con válvula a la entrada del sector y laterales pareados

Como se ha expuesto en los objetivos, se trataba de facilitar el diseño, no se pretende simplificar un proceso, laborioso y técnicamente elaborado, por una simple representación gráfica, ahora bien, sí que se considera la opción de que mediante las gráficas que se presentan a continuación se pueda obtener unos criterios generales que ayuden a plantear un primera solución.

La idea parte de datos a los que todos tenemos acceso cuando empezamos a realizar el dimensionado de un sector de riego, como es la superficie, en definitiva la definición geométrica de un sector de riego. También se considera que se tiene conocimiento del tipo de emisores que se colocarán, o de la UD deseada que se pretende obtener con el diseño. Con estos datos, proponemos un sistema de ábacos que permiten obtener/aproximar los resultados definitivos que se obtendrán con el dimensionado fino.

En la figura 3 se representa para UD = 90%, y para DN de lateral de 20mm, una gráfica en la que en los ejes de ordenadas tenemos representada la superficie del sector en m<sup>2</sup>, en el eje de abscisas inferior la longitud de la tubería (m), y en el eje de abscisas superior el coste (€/ha), de manera que sabiendo la superficie del sector que queremos regar podemos obtener de los diferentes DN de terciarias y laterales y las longitudes máximas que cumplen con la UD de igual manera se puede obtener la estimación del coste de implantación €/ha que resulta de esa combinación de laterales, terciarias y superficie.

Cada gráfica se representa para un DN<sub>lat</sub> determinado y una UD determinada.

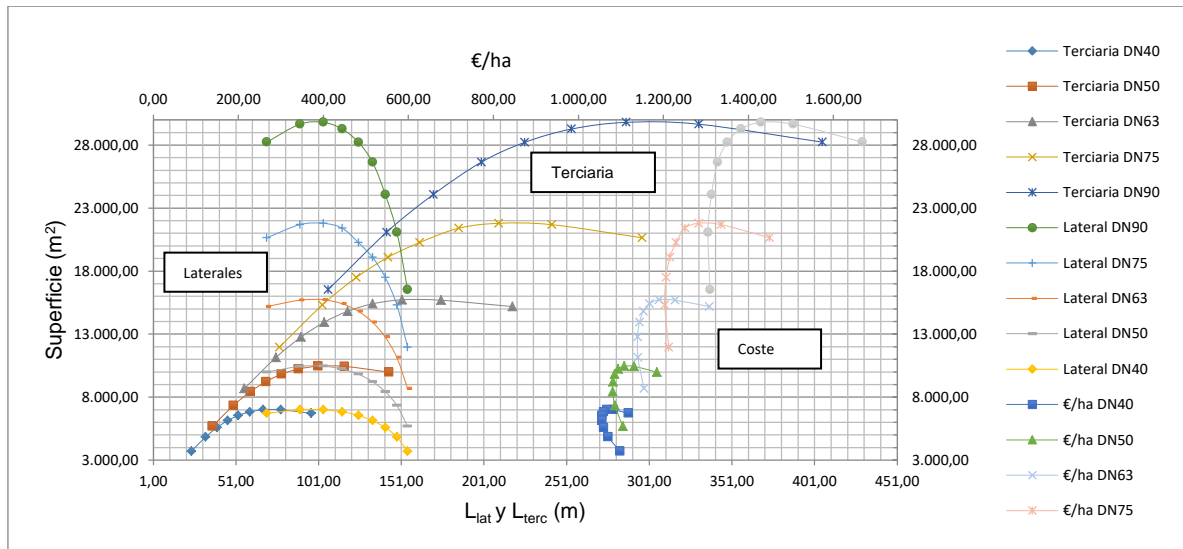


Figura 3. Longitud de las tuberías terciarias y laterales en función de la Superficie del sector. Representación para UD=90%, Lateral DN=20mm, y válvula de sector.

En la figura podemos ver de izquierda a derecha la representación de las tuberías terciarias, las cuales distinguimos porque aumentan de longitud al aumentar la superficie, mientras que los laterales mantienen la misma longitud, independientemente del diámetro de terciaria asociado. Finalmente en el extremo derecho de la gráfica observamos el coste en €/ha, de manera que si conocemos la superficie del sector, o la longitud máxima que podemos conseguir por la geometría de la parcela, de alguna de los dos tipos de tubería, podemos obtener el resto de datos y el coste de instalación de los materiales referido a una hectárea. Al igual que en la figura 1 se comprueba que el coste unitario mínimo del sector se consigue para el diámetro de la terciaria mínimo. También se aprecia que el diámetro de la terciaria depende estrechamente del tamaño del sector

Finalmente se presenta la gráfica análoga a la representada en la Figura 3, fijando el diámetro de la terciaria (DN40), para los diámetros de laterales de 20 mm, y 16mm,

Los resultados se presentan de la misma manera que en la figura 3, tenemos en los ejes de ordenadas la superficie en m<sup>2</sup>, mientras que en los ejes de abscisas se presentan dos datos, en el inferior las longitudes de los laterales y las terciarias en m, y en el superior el coste €/ha, de manera que entrando la superficie de la parcela podemos saber que longitud máxima de terciaria y lateral podemos instalar manteniendo la UD y la estimación del coste. En este caso lo que está fijado es el diámetro de la terciaria, para varios diámetros de laterales, en concreto, 20 mm y 16 mm.



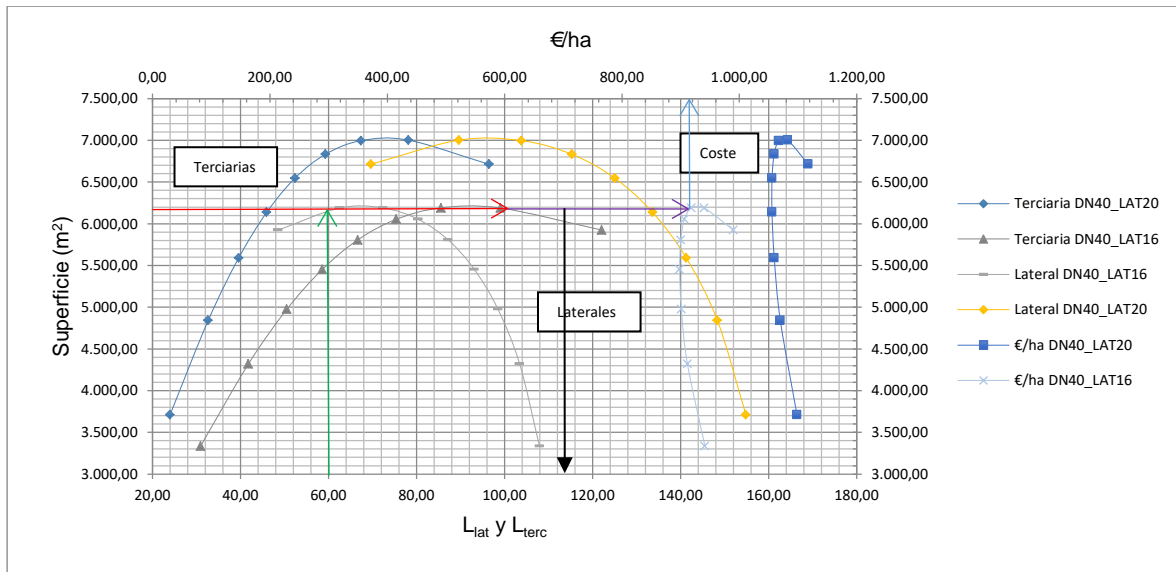


Figura 4. Longitud máxima de las tubería terciaria (DN40) y laterales (DN=20-16 mm en función de la Superficie del sector. Representación para UD=90%,

Analizando las representaciones gráficas de las figura 4 y suponiendo  $DN_{lat} = 20\text{mm}$  podemos establecer dos situaciones diferenciadas a la hora de dimensionar una parcela, parcelas pequeñas con  $S < 7.000\text{ m}^2$  o parcelas grandes con superficie superior a esta.

En el primer caso estamos condicionados por su dimensión y por su geometría. Si la superficie es menor a  $7000\text{ m}^2$  escogeríamos  $DN_{terc} = 40\text{ mm}$  y la Long max de terciaria es de  $78\text{ m}$ , a partir de este valor si disminuimos la  $L_{terc}$  podemos aumentar  $L_{lat}$  según la figura 4.

Si la parcela es más grande de  $7000\text{ m}^2$ , nos podemos plantear dos alternativas:

- 1) Dividir el sector en dos. En este caso estamos bastante condicionados por la  $L_{terc}$ . Si nuestra parcela no cumple las condiciones de  $L_{terc}$  entonces podemos optar por la alternativa 2)
- 2) Escoger un diámetro mayor de terciaria. teniendo en cuenta que cuanto mayor sea el diámetro de la terciaria mayor será el coste de implantación.

Ahora bien si entendemos las curvas tanto de  $DN_{terc} - Superficie$  y de  $DN_{lat} - Superficie$ , como la superficie máxima que podemos obtener para cada posible longitud de cada uno de los tipos de tuberías, que cumple con la  $UD_{diseño} = 90\%$ , en caso de que para nuestro posible proyecto quisiésemos parcelas de dimensiones que estén por debajo de las curvas representadas, en base a unas longitudes de laterales y terciarias que al representarlas gráficamente en la figura 3 ó 4, nos devuelvan un punto por debajo de las curvas, podremos asegurar que ese diseño cumplirá con la premisa de la  $UD \geq 90\%$  ya que las curvas representan el límite máximo para las combinaciones estudiadas.

Si por ejemplo quisiésemos dimensionar una parcela de  $S = 5.500\text{ m}^2$  con  $L_{lat} = L_{terc} = 74\text{ m}$  escogeríamos  $DN_{lat} = 16\text{ mm}$  por ser la mas económica, y con  $DN_{terc} = 40\text{mm}$ , cumplirá con la premisa de la  $UD \geq 90\%$  ya que, recordando que las curvas  $DN_{lat} - DN_{terc} - Superficie - L_{lat} - L_{terc}$  que cumplen  $UD = 90\%$  podemos asegurar que cualquier combinación de  $L_{lat} + L_{terc} + Superficie$  que esté bajo las curvas tendrá una UD mayor que la esperada, y que cualquier combinación de estos que esté sobre la curva tendrá una  $UD = 90\%$  mientras que cualquier combinación situada por encima de las curvas tendrá una  $UD < 90\%$

En la siguiente tabla podemos ver resumido lo que comentamos para el caso de una parcela de  $5.500\text{ m}^2$

DN <sub>lat</sub>	UD <sub>teórica</sub>				UD <sub>real</sub>			
	UD	Δh <sub>teórica</sub>	h <sub>min</sub>	q <sub>min</sub>	Δh <sub>real</sub>	h <sub>min</sub>	q <sub>min</sub>	Udreal
20 mm	90%	3,26 m	8,69 m	3,74 l/h	2,003	9,20	3,84	92,41%
17 mm	90%	3,26 m	8,69 m	3,74 l/h	2,529 m	8,99 m	3,97 l/h	91,39%
16 mm	90%	3,26 m	8,69 m	3,74 l/h	3,25	8,94 m	3,96 l/h	91,14%

 Tabla 2, comparación entre UD<sub>teórica</sub> y UD<sub>real</sub> para los datos del ejemplo.

Ahora proponemos otro ejemplo de una parcela cuyo lateral esté limitado a  $L_{lat} = 60$  m, y queremos saber que superficie máxima podemos regar con esa longitud si el lateral es de DN16, que longitud de terciaria necesitamos y el coste estimado que tendremos de la instalación, el procedimiento sería el siguiente, nos situamos en la figura 4, desde el eje inferior trazamos una línea (flecha verde) hasta cortar la curva que representa la longitud del lateral en función de la superficie, desde este punto hacia la izquierda encontraremos la superficie, en este caso la superficie es de  $6.150 \text{ m}^2$ , ahora desde este punto trazamos una línea horizontal hasta cruzar la curva que representa la longitud de la terciaria de diámetro 40 mm, en este caso, y desde el punto de corte bajamos otra vez hasta el eje de abscisas que representa las longitudes, obteniendo una Longitud de 102,5 m para la terciaria, llegado a este punto ya podemos decir, que nuestra parcela con  $L_{lat} = 60$  m, tendrá una superficie máxima de  $S = 6.150 \text{ m}^2$  y con una terciaria de DN 40 mm cuya longitud  $L_{terc} = 102,5$  m y cuyo coste €/ha será de unos 920 €/ha incluyendo la válvula reguladora del sector. Además como la gráfica se ha elaborado partiendo de la premisa de UD=90%, podemos asegurar que la UD<sub>real</sub>=UD<sub>teórica</sub>=90%

En la tabla 3, podemos ver comparar los resultados teóricos esperados con la realizada después de calcular, los datos de la parcela.

DN <sub>lat</sub>	UD <sub>teórica</sub>				UD <sub>real</sub>			
	UD	Δh <sub>teórica</sub>	h <sub>min</sub>	q <sub>min</sub>	Δh <sub>real</sub>	h <sub>min</sub>	q <sub>min</sub>	Udreal
20 mm	90%	3,26 m	8,69 m	3,74 l/h	3,228 m	8,71 m	3,74 l/h	90,01%

 Tabla 2, comparación entre UD<sub>teórica</sub> y UD<sub>real</sub> para los datos del ejemplo.

Para conseguir un diseño óptimo económicamente hemos de vigilar de no estar en los extremos de longitud de lateral (ni el mínimo, ni el máximo)

## 5. CONCLUSIONES

Dada un parcela horizontal con goteros no compensantes y suponiendo que no hay gastos de energía, el coste unitario mínimo del sector se consigue para diámetros de la terciaria mínimos. En esta situación el valor de la fracción de la variación de presión en el sector asignada al lateral (x) no es muy relevante, consiguiéndose costes bastante semejante para cualquier valor de x, excepto en los valores extremos que si se produce un incremento de coste.



Para una superficie de sector dada pueden existir diferentes soluciones posibles en función del diámetro de la terciaria, la más económica es la de diámetro de la terciaria y de lateral mínimos

Se pueden inferir diferentes variables de un sector de riego a partir de datos conocidos, superficie, longitud de alguna de las tuberías, y estimar el coste de una instalación, de una manera rápida pero a la vez precisa, teniendo en cuenta que cada gráfica es para unas condiciones concretas, tanto de emisores, como de UD.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Monserrat, J., Barragán, J., & Cots, L. I. (2018). Design of paired laterals on uniformly slopping fields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6), 04018008 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001308](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001308).

Wu, I. P., & Gitlin, H. M. (1975). Energy gradient line for drip irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, 101, 323e326.

Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold

Wu, I.P., Barragan, J., 2000. *Design criteria for microirrigation systems*. Trans. ASAE 43 (5), 1145–1154.

Pizarro, F. 1990. *Riegos localizados de alta frecuencia*. 2ª edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 471 pp.

Rodrigo L.; Hernández, J; Pérez, A. y González, J. 1997. *Riego localizado*. 2ª edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 405 pp.