



# Diseño y dimensionado de subunidades de riego localizado

## Caso práctico con emisores no compensantes

<b>Apellidos, nombre</b>	<b>Palau Estevan, Carmen Virginia</b> (virpaes@agf.upv.es) <b>Arviza Valverde, Jaime</b> (jarviza@agf.upv.es) <b>Balbastre Peralta, Iban</b> (ibbalpe@agf.upv.es)
<b>Departamento</b>	<b>Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria</b>
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural Universidad Politécnica de Valencia

## 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presenta un caso práctico de diseño y dimensionado de subunidades de riego. El diseño abordará **de qué forma es más adecuado alimentar esta unidad de riego** y el dimensionado completará la solución, determinando los **diámetros, presiones y caudales** que dispondrá la subunidad o subunidades.

## 2 Introducción

En las últimas décadas, la modernización de los sistemas de riego en la zona mediterránea, fundamentalmente ocasionada por la escasez de agua, es una realidad de las zonas rurales. Esta modernización hacia sistemas de riego a presión, donde el agua puede ser controlada y aportada de forma más eficiente, conlleva un diseño y una gestión apropiada de estas infraestructuras.

En riego localizado, **la subunidad de riego es el conjunto de laterales conectados a una terciaria y controlados por una válvula de maniobra**, manual o automático.

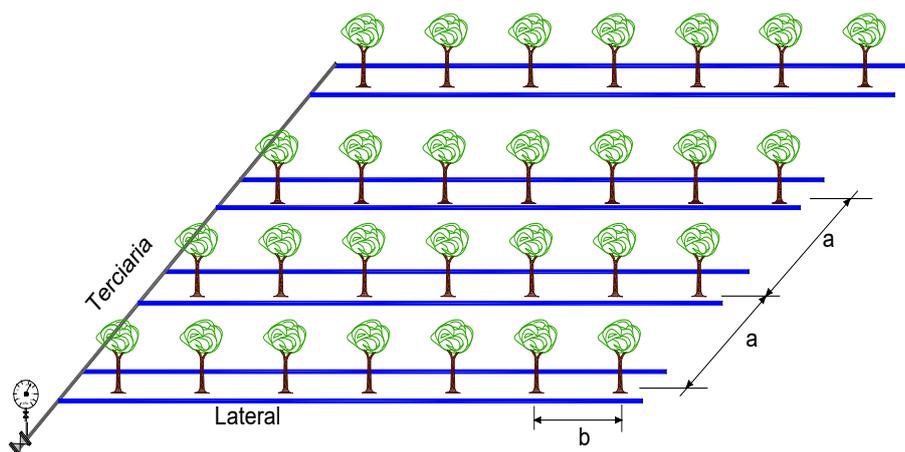


Figura 1. Subunidad de riego localizado.

El diseño correcto de esta infraestructura condicionará que el aporte de agua y fertilizantes se ajuste a las necesidades del cultivo y se distribuya por toda la parcela de forma uniforme.

Consecuentemente, el objetivo principal en este diseño es alcanzar la máxima eficiencia de aplicación aportando el agua que necesita la planta, y ello pasa por garantizar una **alta uniformidad de distribución** en la parcela de cultivo.

## 3 Fundamento teórico

El diseño de subunidades de riego conlleva la elección y dimensionado de todos los componentes de este sistema. Principalmente, tipo de gotero, laterales y tubería terciaria teniendo en cuenta sus características técnicas. La **uniformidad de emisión vendrá condicionada por el tipo de emisor de riego, la presión que llega al gotero**, y por tanto a su caudal, y a la variación de presión admitida en el sistema (Montalvo, 2005).

La relación entre el caudal del emisor de riego y la presión se establece con su curva característica (Eq. 1).

$$q = k \cdot h^x \quad (\text{Eq. 1})$$

donde  $q$  = caudal del emisor ( $l \cdot h^{-1}$ );  $H$  = altura de presión (m);  $k_e$  = coeficiente de descarga del emisor;  $x$  = exponente de descarga cercano a 0 en emisores compensantes y a 0.5 en emisores turbulentos no compensates.

La variación de caudal del emisor en una subunidad de riego viene definida en la siguiente expresión:

$$\Delta q = \frac{(q_{max} - q_{min})}{\bar{q}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Los principios hidráulicos del diseño de subunidades se basan en la ecuación fundamental de la conservación de la energía (o ecuación de Bernoulli) y en la ecuación de continuidad. La evolución de la presión a lo largo de la terciaria y laterales cambia, principalmente condicionado, por la fricción del agua en las conducciones y el desnivel. Considerando despreciable el término cinético, la energía total del sistema vendrá expresada con la ecuación de Bernoulli.

$$H = z + h + h_{tot} \quad (\text{Eq. 3})$$

Donde  $z$  = desnivel como energía potencial (m);  $h$  = altura de presión (mca) y  $h_{tot}$  = pérdida de carga por rozamiento y por elementos singulares (mca).

Esta pérdida de carga producida por fricción se estima mediante la ecuación de Darcy-Weisbach que para flujo turbulento y tubería lisa se introduce con la fórmula empírica de Blasius  $f = 0.3164/Re^{0.25}$ . Particularizando en la pérdida de carga originada en una distribución discreta de caudal a lo largo de un lateral o una terciaria se utiliza el **coeficiente reductor de Christiansen F**, siendo  $C$  para una temperatura de 20°C de 0.466:

$$h_{tot} = K_m \cdot C \cdot F \cdot L \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$F(n) = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2 \cdot n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot n^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

donde  $L$  = longitud (m);  $Q$  = caudal en  $l/h$ ;  $D$  = diámetro en mm;  $K_m$  = coeficiente mayorante por pérdidas de carga singulares estimado en 1.1-1.2;  $F$  = Coeficiente de Christiansen para múltiples derivaciones de caudal;  $n$  = número de derivaciones de caudal en terciaria o laterales;  $m$  = exponente del caudal en la fórmula de pérdidas de carga (para Blasius  $m = 1.75$ )

De esta forma, **el diseño y dimensionado de subunidades se basa en criterios de uniformidad de emisión a través del control de la variación de presión admisible en una subunidad, repartiéndola entre laterales y terciarias:**

$$\begin{aligned} \Delta H_{subunidad} &= \Delta H_{lateral} + \Delta H_{terciaria} \\ &= h_{lateral} + \Delta z_{lateral} + h_{terciaria} + \Delta z_{terciaria} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 6})$$

De esta forma, abordaremos el tema a través de un caso práctico que permitirá el aprendizaje y análisis de una subunidad de riego.

## 4 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento el lector será capaz de:

- Identificar elementos de una subunidad de riego
- Diseñar una subunidad de riego estableciendo la forma y punto de abastecimiento de agua más adecuado.
- Dimensionar las conducciones y determinar los parámetros hidráulicos de funcionamiento para que el riego sea uniforme.

## 5 Caso práctico

### 5.1 Contexto de la parcela y materiales

Esta parcela de cítricos ubicada en la provincia de Valencia se abastece desde un hidrante cercano indicado en la fotografía al que le llega una presión de 28-30 mca desde una red colectiva.

La parcela tiene una superficie aproximada de 8400 m<sup>2</sup> y es regular, lo que significa que todas sus filas de árboles son, aproximadamente, de la misma longitud. El marco de plantación es de 5 x 5 m.

En la fotografía extraída del visor Signa (Sistema Información Geográfica Nacional), se muestran las longitudes (cuadros en blanco) y cotas (cuadros en azul) de la parcela del caso práctico.



Figura 2. Parcela de actuación en el caso práctico.

Como el resto de las parcelas colindantes del mismo propietario, se desea utilizar para el riego de la parcela una tubería emisora con las siguientes características técnicas, extraídas de la hoja técnica comercial (Regaber):

Tabla 1. Características técnicas del emisor no compensante

EMISOR NO COMPENSANTE
Caudal nominal: 3.8 l/h
Presión nominal: 10 mca;
Curva característica $q$ (l/h) = $1.387 \cdot h^{0.46}$ (h mca) Exponente de descarga, $x = 0.46$
Espaciamiento entre emisores, $s = 1$ m
Coeficiente mayorante laterales $K_m = 1.3$ Coeficiente mayorante terciara $K_m = 1.2$
Tubería DN 16mm, Diámetro interior $D_i = 14.2$ mm
Material en laterales PE para microirrigación y terciarias en polietileno (PE) o PVC.
Precio tubería emisora = 0.225 €/m

## 5.2 Diseño y dimensionado de la parcela

El diseño de la subunidad aborda la forma más eficiente de regar, teniendo en cuenta una serie de condicionantes como la cercanía al punto de abastecimiento del agua, el desnivel de la parcela o si la terciaria puede instalarse en superficie o debe estar enterrada. Cada caso o parcela tendrá unas premisas iniciales, pero siempre es interesante analizar diferentes alternativas para poder llegar a una solución óptima.

De esta forma, en el presente caso analizaremos las siguientes alternativas:

1. Alimentación de la parcela **desde el extremo**.
2. Alimentación de la parcela **alimentando los laterales por un punto medio**.

### 5.2.1 Alimentación de la parcela desde el extremo

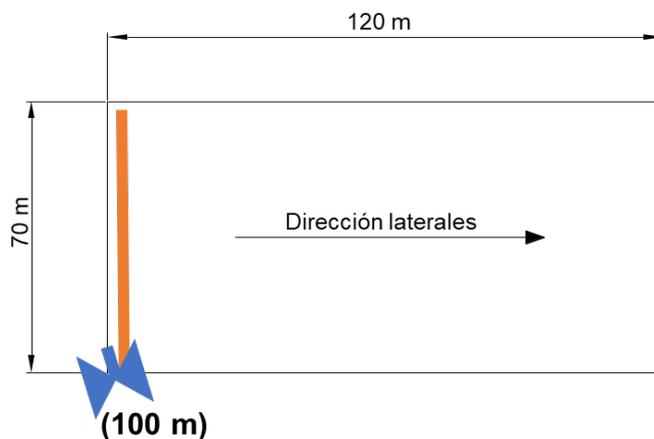


Figura 3. Esquema de alimentación de la parcela desde el extremo.

La **máxima variación de presión admisible en la subunidad para no sobrepasar un 10% de variación en el caudal** viene dada por:

$$\Delta H = \frac{0.1}{x} \cdot \bar{H} = \frac{0.1}{0.46} \times 10 = 2.17 \text{ m}$$

Para el **lateral** de 120 m las pérdidas de carga totales en un lateral serán:

- Caudal al inicio del lateral será:

$$Q_L = 120 \times 3.8 = 456 \text{ l/h}$$

- El número de emisores en lateral, al ser el espaciamento de  $s = 1 \text{ m}$ , será de 120. El coeficiente de Christiansen para 70 derivaciones es:

$$F(120) = \frac{1}{1 + 1.75} + \frac{1}{2 \times 120} + \frac{\sqrt{1.75 - 1}}{6 \times 120^2} = 0.368$$

- La pérdida de carga en el lateral de 120 m será:

$$h_{lat} = K_m \cdot C \cdot F \cdot L_{lat} \cdot \frac{Q_{lat}^{1.75}}{D_{i lat}^{4.75}} = 1.3 \cdot 0.466 \cdot 0.368 \cdot 120 \cdot \frac{458^{1.75}}{14.2^{4.75}} = 4.1 \text{ m}$$

Con este diseño, únicamente, las pérdidas de carga en el lateral ya serán superiores a la máxima variación de presión admisible en la subunidad.

**Esta solución no conlleva buena uniformidad de riego**, esta subunidad con tubería emisora y goteros no compensantes, no permite una longitud de 120 m.

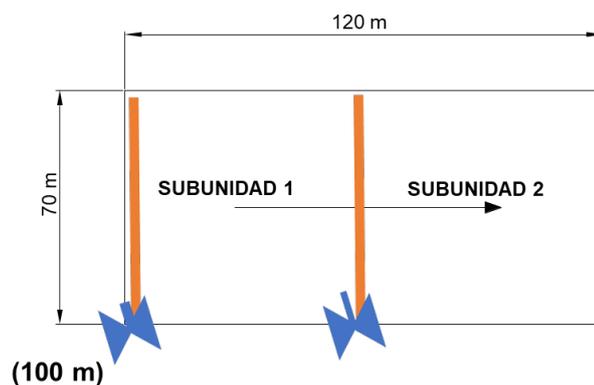


Figura 4 . Esquema de alimentación de la parcela con dos subunidades alimentadas desde el extremo.

Estudiamos la **alternativa de dos subunidades con laterales alimentados por el extremo**. Realizando los mismos cálculos anteriores, pero con una longitud de lateral de 60 m:

- El número de derivaciones  $n$  es de 60 que corresponde a un coeficiente reductor de Christiansen de  $F(60) = 0.372$
- El caudal a la entrada del lateral se reducirá  $Q_{lat} = 60 \times 3.8 = 228 \text{ l/h}$ .
- La pérdida de carga en el lateral de 60 m, consecuentemente, también será menor:

$$h_{lat} = K_m \cdot C \cdot F \cdot L_{lat} \cdot \frac{Q_{lat}^{1.75}}{D_{i lat}^{4.75}} = 1.3 \cdot 0.466 \cdot 0.372 \cdot 60 \cdot \frac{228^{1.75}}{14.2^{4.75}} = 0.61 \text{ m}$$

Con esta solución, garantizamos uniformidad de caudal a lo largo del lateral de riego. Y nos permite continuar con el dimensionado de la terciara.

- La presión al inicio del lateral, teniendo en cuenta que la presión media de funcionamiento del gotero es de  $\bar{H} = 10 \text{ mca}$ , se ajusta con coeficientes de compensación de energía  $\alpha$  y  $\beta$ :

$$\frac{P_{lat}}{\gamma} = \bar{H} + \beta \cdot h_{lat} + \alpha \cdot \Delta Z_{Lat} = 10 + 0.733 \times 0.61 + 0.5 \times 0 = 10.45 \text{ m}$$

La variación máxima de presión en **terciaria**, despejando de la ecuación 6, viene dada por:

$$\Delta H_{terciaria} = \Delta H_{subunidad} - \Delta H_{lateral} = \Delta H_{subunidad} - h_{lateral} + \Delta Z_{lateral} = 2.17 - 0.61 = 1.56 \text{ m}$$

- La pérdida de carga máxima admisible en terciaria para garantizar uniformidad de caudal será:

$$h_{ter} = \Delta H_{ter} - \Delta Z_{ter} = 1.56 - (-1) = 2.56 \text{ m}$$

- El número de laterales en la terciaria para un tramo de 70 m, un marco de plantación de 5x5 m y doble lateral por fila de plantas será:

$$N^{\circ} \text{ filas} = 70/5 = 14$$

$$N_{laterales} = 2 \cdot 14 = 35$$

- El caudal al inicio de la terciaria será:

$$Q_{ter} = 35 \times 228 = 7980 \text{ l/h}$$

- El coeficiente de Christiansen para 35 derivaciones será:

$$F(35) = 0.378$$

- El diámetro mínimo de la terciaria se despeja de la fórmula de pérdida de carga de Blasius (Eq.4).

$$D_{ter} = \left( \frac{1.2 \times 70 \times 0.466 \times 0.378 \times 7980^{1.75}}{2.56} \right)^{\frac{1}{4.75}} = 39.63 \text{ mm}$$

Elegiríamos para no sobrepasar la pérdida de carga máxima admisible en la tubería terciaria el diámetro interior inmediato superior de la Tabla 3, es decir una **terciaria comercial en polietileno (PE) de DN50 (D int =43.6mm)**.

- La **pérdida de carga real** será:

$$h_{ter} = K_m \cdot F \cdot L_{lat} \cdot \frac{Q_{lat}^{1.75}}{D_{i lat}^{4.75}} = 1.2 \cdot 0.466 \cdot 0.378 \cdot 70 \cdot \frac{7980^{1.75}}{43.6^{4.75}} = 1.62 \text{ m}$$

- La **presión en inicio de la terciaria o de la subunidad** con esta alternativa será:

$$\frac{P_{sub}}{\gamma} = \frac{P_{lat}}{\gamma} + \beta \cdot h_{Lat} + \alpha \cdot \Delta Z_{Lat} = 10.45 + 0.733 \times 1.62 + 0.5 \times (-1) = 11.14 \text{ m}$$

El **coste del material en este diseño para una subunidad** se estima en:

$$C = 60 \times 35 \times 0.385 + 70 \times 1.5 = 913.5 \text{ €}$$

Como hay que colocar **2 subunidades el coste total** será:

$$C_T = 2 \times C = 1827 \text{ €}$$

## 5.2.2 Alimentación de la parcela desde el punto medio de los laterales

Otra alternativa de diseño interesante, ya que los laterales son horizontales, es evaluar el **diseño de suministro de agua de riego por el punto medio**. La alimentación por un punto medio de laterales significa que las longitudes de lateral a cada lado de la parcela son las mismas, es decir la tubería terciaria se instalaría enterrada en el centro atravesando la parcela como se muestra en la Figura 5.

Este tipo de **alimentación por el punto medio sólo es recomendable cuando la pendiente de los laterales es nula o muy baja**, es decir la parcela esta nivelada a lo largo de sus filas.

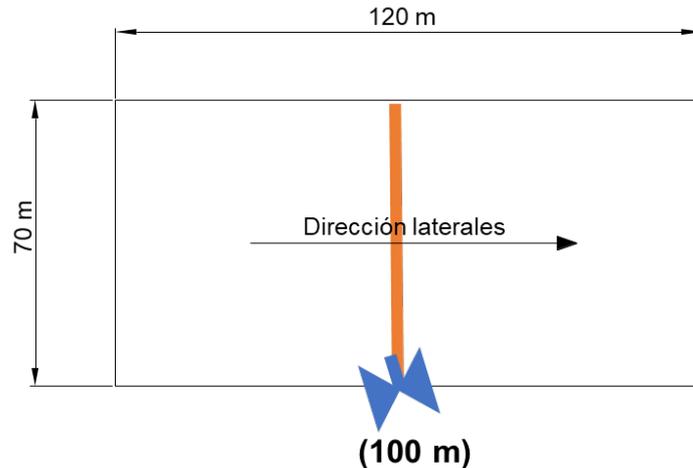


Figura 5. Esquema de alimentación de la parcela desde el punto medio.

Con esta alternativa de diseño, los cálculos efectuados para el lateral de 60 m son válidos, únicamente, cambia el caudal al inicio de la terciaria que se duplicará.

- El caudal al inicio de la terciaria será:

$$Q_{ter} = 2 \times 35 \times 228 = 15960 \text{ l/h}$$

El coeficiente de Christiansen para 35 derivaciones o laterales será:

$$F(35) = 0.378$$

- El diámetro mínimo de la terciaria se despeja de la fórmula de pérdidas de carga de Blasius.

$$D_{ter} = \left( \frac{1.2 \times 70 \times 0.466 \times 0.378 \times 15960^{1.75}}{2.56} \right)^{\frac{1}{4.75}} = 51.16 \text{ mm}$$

En este caso la tubería terciaria irá enterrada, se elige PVC como material de la Tabla 4 (también sería posible PE). El **diámetro nominal será de 63 mm** con diámetro interior de 59 mm, inmediato superior al calculado.

- La pérdida de carga para el diámetro adoptado será:

$$h_{ter} = 1.2 \times 70 \times 0.466 \times 0.378 \times \frac{15960^{1.75}}{59^{4.75}} = 1.3 \text{ m}$$

- La presión necesaria al inicio de la subunidad vendrá dada por:

$$\frac{P_{sub}}{\gamma} = \frac{P_{lat}}{\gamma} + \beta \cdot h_{ter} + \alpha \cdot \Delta Z_{ter} = 10.45 + 0.733 \cdot 1.3 + 0.5 \cdot (-1) = 10.9 \text{ m}$$

El **coste total del material** para este diseño con una subunidad alimentada por el punto medio será:

$$C = 2 \cdot 60 \cdot 35 \cdot 0.385 + 70 \cdot 1.75 = 1739.6 \text{ €}$$

## 6 Resultados y conclusiones

En este artículo docente se ha presentado un sencillo estudio de diseño de subunidades de riego localizado en una parcela. Se han valorado diferentes alternativas, teniendo en cuenta los criterios más importantes:

- Uniformidad de emisión de caudal superior al 90% en toda la parcela, controlando la variación de presiones en toda la subunidad.
- Presiones requeridas en cada solución al inicio de la terciaria o subunidad.
- Coste de cada alternativa de diseño.

Los resultados obtenidos para cada alternativa son:

Tabla 2. Principales resultados obtenidos para cada solución.

Alternativa	Nº subunidades	Alimentación de laterales	Caudal inicio subunidad (l/h)	Presión inicio subunidad (mca)	Diámetro nominal elegido (mm)	Coste total (€)
1	2	Extremo	7980	11.14	50	1827
2	1	Punto medio	15960	10.9	63	1739.6

Finalmente, tras analizar los resultados, las diferencias entre ambos diseños son poco significativas, ambas soluciones garantizaran un buen diseño.

Las presiones requeridas al inicio de las subunidades son bajas y poco exigentes energéticamente. Los diámetros de las terciarias están dentro de los rangos habituales. El coste para la alternativa 2 es menor, ya que tiene una única terciaria. No obstante, hay que tener en cuenta que no se ha valorado el coste de la instalación de la terciaria enterrada que en ambos casos sería necesario ya que la tubería va por el centro de la parcela.

## 7 Resumen

El diseño y dimensionado adecuado de subunidades es fundamental para garantizar una buena uniformidad de riego en la parcela.

En este artículo docente se han estudiado y valorado dos alternativas de diseño en una parcela. La primera alternativa contempla la alimentación de laterales por el extremo, la segunda, al ser una parcela plana, la alimentación por el punto medio de los laterales. Se ha realizado el análisis de presiones y dimensionado del sistema de riego, garantizando uniformidad y valorando económicamente cada solución.

## 8 Bibliografía

### 8.1 Libros y publicaciones consultadas:

Montalvo, T. **Riego localizado. Diseño de instalaciones.** (2005). Ed. Ediciones VJ.

Arviza, J. **Riego localizado** (1996). Ed. Universitat Politècnica de València.

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

## 8.2 Páginas web de interés y datos sobre materiales:

Regaber; Casa comercial Regaber. Especificaciones técnicas  
<https://regaber.com/producto/aries/#toggle-id-1>

Tabla 3. Diámetros nominales, diámetros interiores en mm y precio por metro en polietileno (PE40).

Diámetro nominal	Diámetro interior	€/ml
32	28	0,65
40	35	0,95
50	43,6	1,5
63	55	2,38
75	66	3,49
90	79,2	5,12

Tabla 4. Diámetros nominales, diámetros interiores en mm y precio por metro de PVC.

Diámetros nominales e interiores PVC norma UNE EN 1452						
DN (mm)	0,6 Mpa		1,0 Mpa		1,6 Mpa	
	D.interior (mm)	(€/ml)	D.interior (mm)	(€/ml)	D.interior (mm)	(€/ml)
<b>32</b>	27,2	1,2			27,2	1,2
<b>40</b>	37	0,97	36,2	1,13	34	1,84
<b>50</b>	46,8	1,16	45,2	1,66	42,6	2,61
<b>63</b>	59	1,75	57	2,55	53,6	4
<b>75</b>	70,4	2,44	67,8	3,59	63,8	5,65
<b>90</b>	84,4	3,44	81,4	5,14	76,6	8,09
<b>110</b>	104,6	3,99	101,6	6,06	96,8	9,71
<b>125</b>	118,8	5,22	115,4	7,8	110,2	12,37
<b>140</b>	133	6,54	129,2	9,83	123,4	15,52