

Anejo 10:

**Diseño hidráulico.**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. DISEÑO DE LAS UNIDADES DE RIEGO</b>	<b>4</b>
<b>3. INSTALACIÓN DEL RIEGO</b>	<b>5</b>
3.1. Distribución del riego	5
3.2. Descripción de las conducciones	5
<b>4. DISEÑO HIDRAULICO</b>	<b>6</b>
4.1. Uniformidad de riego (C.U.)	6
4.2. Tolerancia de caudales	7
4.3. Tolerancia de presiones	7
4.4. Cálculo de los portagoteros	9
4.5. Cálculo de los portarramales	11
4.6. Diseño de las tuberías secundarias	13
4.7. Diseño de las tuberías principales	16
4.8. Diseño del cabezal de riego	17
4.9. Diseño de la tubería que va desde el embalse al cabezal de riego	22
4.10. Diseño del equipo de bombeo	22
4.11. Diseño de la tubería que va desde la toma de agua hasta la balsa	22
<b>5. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA</b>	<b>23</b>
5.1. Bibliografía	23

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Resumen distribución de sectores</i> _____	5
<i>Tabla 2. Tuberías secundarias del sector A</i> _____	15
<i>Tabla 3. Tuberías secundarias del sector B</i> _____	16
<i>Tabla 4. Tuberías secundarias del sector C</i> _____	16
<i>Tabla 5. Tubería primaria del sector A</i> _____	18
<i>Tabla 6. Tubería primaria del sector B</i> _____	18
<i>Tabla 7. Tubería primaria del sector C</i> _____	19
<i>Tabla 8. Tubería embalse-cabezal</i> _____	23

## 1. INTRODUCCIÓN

El riego localizado consiste en aplicar el agua a una zona más o menos restringida del volumen de suelo que habitualmente ocupan las raíces. Sus características principales son:

- No se moja la totalidad del suelo.
- Se utilizan pequeños caudales a baja presión.
- El agua se aplica con alta frecuencia.

La localización del agua en la proximidad de las plantas se manifiesta en que se modifican algunas características de las relaciones suelo-agua-planta, tales como: reducción de la evaporación, distribución del sistema radical, régimen de salinidad, etc.

La alta frecuencia de aplicación del agua implica unas importantes consecuencias sobre su aprovechamiento, ya que al estar siempre el suelo a la capacidad de campo o muy próximo a ella, las plantas absorben el agua con mucha facilidad.

## 2. DISEÑO DE LAS UNIDADES DE RIEGO

Una vez calculado el número de goteros por árbol, su disposición, el caudal de cada gotero, el intervalo entre riegos y la dosis de riego, se puede realizar el diseño de las unidades de riego.

El tipo de emisor seleccionado para poner en cada una de las unidades de riego es un **gotero autocompensante, autolimpiante y antidescarga**, que arroja un caudal de 4 L/h. El carácter autolimpiante es sobre todo para evitar las posibles obturaciones de los goteros, que pueden ocasionar una reducción en la uniformidad del riego. Mientras que su carácter antidescarga provoca que cuando finaliza el riego, las tuberías queden cargadas consiguiendo de esta forma un importante ahorro de energía. A continuación se muestran las características de dicho emisor:

- Caudal nominal medio: 4 L/h.
- Autocompensante autolimpiante y antidescarga.
- De laberinto.
- Presión nominal: 10 m.c.a.
- Coeficiente de variación de fabricación (C.V.): 1%
- Desmontable: No.
- Longitud equivalente: 0,3 m.
- Ecuación característica:  $Q = 1,265 \cdot h^{0,500}$

### 3. INSTALACIÓN DE RIEGO

Los componentes fundamentales de nuestra instalación de riego son:

- Cabezal de riego.
- Red de distribución.
- Emisores o goteros.
- Dispositivos de control.

El viñedo tiene una extensión de 34.493 m<sup>2</sup>, en un único sector dividido en cuatro unidades de riego, lo que permite un manejo más cómodo y adecuado de la instalación, al poder utilizar independientemente cada una de las unidades de riego. Así es posible la solución de problemas que puedan acontecer, sin que se vea afectada el resto de la instalación. Todos los detalles de la instalación de riego están reflejados en el Documento Básico N° 2 “Planos”.

#### 3.1. Distribución del riego

En el cuadro siguiente se hace un resumen de la distribución de cada uno de los sectores y sus unidades correspondientes:

**Tabla 1. Resumen distribución de unidades.**

Unidades	Nº de vides	Caudal máximo (L/h)
1	3543	14172
2	3485	13940
3	2250	9000
4	1160	4640

#### 3.2. Descripción de las conducciones

1. **Líneas principales:** éstas arrancan del cabezal de riego y se extienden hasta el comienzo de la unidad de riego, transportando el caudal que demande.

Los caudales que circulan por estas tuberías serán regulados en el cabezal de riego y en comienzo de la unidad, disponiendo al comienzo de la unidad de un regulador de presión y un manómetro, así como de una llave de regulación al comienzo de cada unidad.

Las tuberías a emplear son de plástico rígido, de PVC, cuyas dimensiones y diámetros se expondrán más adelante. Irán enterradas para evitar los efectos negativos de la radiación solar y la temperatura, a una profundidad que varía en función del diámetro: 45 cm para diámetros entre 20 y 75 mm, y 60 cm para diámetros entre 75 y 110 mm.

Estas líneas irán rodeadas de una capa de tierra exenta de piedras, sobre todo en los puntos singulares, con el fin de evitar posibles daños a las tuberías.

2. **Tuberías secundarias:** se trata de las líneas que partiendo de las principales, distribuyen el agua hasta las tuberías terciarias o portarramales.

Las tuberías a emplear son de plástico rígido, de PVC, cuyas dimensiones y diámetros se expondrán más adelante. Irán enterradas para evitar los efectos negativos de la radiación solar y la temperatura, a una profundidad que varía en función del diámetro: 45 cm para diámetros entre 20 y 75 mm, y 60 cm para diámetros entre 75 y 110 mm.

Estas líneas irán rodeadas de una capa de tierra exenta de piedras, sobre todo en los puntos singulares, con el fin de evitar posibles daños a las tuberías.

La única tubería secundaria que tendrá nuestra instalación de riego dispondrá de una válvula de cabeza que permitirá su aislamiento cuando sea preciso.

3. **Tuberías terciarias o portarramales:** se trata de las líneas que partiendo de las principales o por el contrario, de tuberías secundarias, distribuyen el agua hasta los ramales portagoteros.

Estas tuberías serán de PE con las dimensiones y diámetros que se exponen más adelante. Irán enterradas siguiendo la línea de máxima pendiente.

4. **Tuberías laterales:** son aquellas sobre la que se disponen los emisores, encargándose de llevar el agua desde las tuberías secundarias hasta las plantas.

Se utilizarán tuberías de PE, y se dispondrán sobre el terreno siguiendo trazados de pendiente nula o descendente, lo que permitirá el paso de la maquinaria por la calle de poco desnivel sin tener que enterrarlas.

No existe ningún problema por el que la tubería esté siempre sobre la superficie del terreno, pues el PE de color negro lleva una serie de aditivos, principalmente negro de humo, que evitarán su degradación por los rayos solares.

## 4. DISEÑO HIDRÁULICO

### 4.1. Uniformidad del riego (C.U.)

La uniformidad del riego es una magnitud que caracteriza a todo el sistema de riego y que además interviene en su diseño, pues en función de ella se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores.

Para riegos localizados de alta frecuencia, se define el coeficiente de uniformidad, C.U., según la expresión:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Siendo:

$q_{25}$ : caudal medio de los emisores que constituyen el 25 % de más bajo caudal.

$q_a$ : caudal medio de todo los emisores de la instalación.

En el diseño, la uniformidad es una condición que se impone, debiendo mantener este valor en el resto del diseño.

Según Pizarro (1996) para instalaciones sobre cultivos permanentes, con emisores espaciados menos de cuatro metros, con pendiente inferior al 2 % y clima árido el valor recomendado de U.D. es de 0,85 - 0,90.

#### 4.2. Tolerancia de caudales

Para el cálculo del caudal mínimo del gotero ( $q_{\min}$ ), nos basaremos en la siguiente fórmula:

$$CU = \left(1 - \frac{1,27 \times CV}{\sqrt{e}}\right) \times \frac{q_{\min}}{q_a}$$

Siendo:

C.U.: coeficiente de uniformidad (0,90)

C.V.: coeficiente de variación (0,01)

$q_{\min}$ : caudal mínimo del emisor

$q_a$ : caudal medio de todo los emisores de la instalación. ( $4 \text{ L} \times \text{h}^{-1}$ )

$e$ : número de emisores (1)

Donde despejando de la ecuación anterior se obtiene el siguiente resultado:

$$q_{\min} = 3,6032 \text{ L} \times \text{h}^{-1}$$

#### 4.3. Tolerancia de presiones

Conocidos los caudales  $q_a$  y  $q_{\min}$ , procedemos a calcular las presiones medias  $h_a$  y  $h_{\min}$ , a partir de la ecuación de gasto del gotero elegido:

$$Q = K \times h^x = 1,265 \times h^{0,5}$$

Así que aplicando la fórmula se obtienen los siguientes resultados:

- Para el cálculo de  $h_M$ :

$$4 \text{ L} \times \text{h}^{-1} = 1,265 \times \text{h}^{0,5}$$

$$h_N = 10 \text{ m.c.a.}$$

- Para el cálculo de  $h_{\min}$ :

$$3,6032 \text{ L} \times \text{h}^{-1} = 1,265 \times \text{h}^{0,5}$$

$$h_{\min} = 8,1145 \text{ m.c.a.}$$

De esta forma sabemos la diferencia de presiones del sector,  $\Delta H$ , que es proporcional a  $(h_M - h_{\min})$ .

$$\Delta H = M \times (h_M - h_{\min})$$

Donde M es un factor que va a depender del número de diámetros que se vayan a utilizar para una misma tubería, ya sea terciaria o lateral. Keller (1978) establece una serie de recomendaciones, sin embargo, como en la fase de cálculo es difícil saber el número de diámetros, se recomienda utilizar el valor  $M = 2,5$

$$\Delta H = 2,5 \times (10 - 8,1145) = 4,7138 \text{ m.c.a.}$$

De esta forma obtenemos la diferencia de presiones admisible en la unidad, que se reparte entre la tubería terciaria y los laterales:

$$\Delta H = \Delta H_{pr} + \Delta H_{pg}$$

Siendo:

$\Delta H_{pg}$ : variación de presión admisible en cada portarramal.

$\Delta H_{pr}$ : variación de presión admisible en la tubería portagotos.

Hay que señalar que esas variaciones de presión incluyen no sólo las pérdidas de carga en las tuberías, sino también los desniveles topográficos:

$$\Delta H_l = \Delta H_t = \frac{\Delta H}{2} = \frac{4,7138}{2} = 2,3569 \text{ m.c.a.}$$

Condiciones de cálculo de la subunidad de riego

Las pérdidas de carga en las tuberías de la subunidad no deben superar la tolerancia de presiones:

En el caso de las tuberías portagotosos será:

$$h_o - h_m < \Delta H_{pg} \rightarrow h_o - h_m < 2,0875 \text{ m.c.a.}$$

Siendo:

- $h_o$ : presión inicial en el ramal portagotosos.
- $h_m$ : presión mínima en el ramal portagotosos.

En el caso de las tuberías portarramales será similar:

$$H_o - H_m < \Delta H_{pr} \rightarrow H_o - H_m < 2,0875 \text{ m.c.a.}$$

Siendo:

- $H_o$ : presión inicial en la tubería portarramales.
- $H_m$ : presión mínima en la tubería portarramales

#### Distribución en planta de las subunidades de riego

Las diferentes subunidades de riego, con sus correspondientes ramales portagotosos y su portarramal, podemos verlo en el plano adjunto de distribución en planta del sistema de riego.

#### **4.4. Cálculo de los portagotosos**

Estas tuberías constituyen la mayor longitud de la instalación, por lo que con objeto de abaratar el coste de la misma, es preferible utilizar el menor diámetro posible, procurando que el aumento en el número de terciarias no sea excesivo. Para tal efecto, se han distribuido las subunidades de riego de manera que los laterales queden dispuestos siempre con pendiente a favor entorno al 1,5-2%.

Para el cálculo de las tuberías, normalmente, se toma la tubería que presente las condiciones más desfavorables, desde un punto de vista hidráulico, igualando el resto de las tuberías a la calculada. La tubería calculada para esa subunidad será aplicada para el resto de las subunidades, ya que prácticamente son similares todas las subunidades. Con esta condición ahorraremos en mano de obra, por la sencillez de colocar tuberías iguales en toda la superficie.

El ramal más desfavorable está situado en la parte superior de la unidad 1. Se trata de un ramal alimentado por un extremo, de 74,73 m de longitud, con pendiente del 2%, que alimenta a 49 vides.

Las fórmulas generales aplicadas en los cálculos son las siguientes:

$n$ : número de goteros

$l_e$ : longitud equivalente de los goteros

$F$ : factor de Christiansen

N: número de goteros

$$m = 1,75$$

Supondremos una tubería portagoteros de PE de baja densidad con un diámetro de 16/13,6 mm.

Se describen a continuación los cálculos realizados:

$$Q = n \times q_a = 49 \times 4 = 196 \text{ L/h}$$

Siendo:

- Q: caudal del ramal en L/h
- n: número de goteros por ramal= 49 vides  $\times$  1 gotero = 49 goteros
- $q_a$ : caudal medio del gotero = 4 L/h

$$\Delta Z_r = -I_0 \times L = -0,02 \times 74,72 = -1,4944$$

$$h_f = 0,465 \times Q^{1,75} \times D^{-4,75} \times L_f \times F$$

$$L_f = L + (n \times l_e)$$

Siendo:

- $h_f$ : pérdida de carga en la tubería (m.c.a.)
- Q: caudal que circula por la tubería (L/h)
- D: diámetro de la tubería (mm)
- $L_f$ : longitud ficticia
- L: longitud del lateral (m)

F es el coeficiente de Christiansen, depende del número de emisores del ramal (N = 49), del tipo de tubería (tuberías de polietileno, m = 1,75), y la distancia del primer gotero al portarramal igual a la mitad de la distancia entre goteros, calculándolo de la siguiente forma:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 \cdot N^2} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \cdot 49} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \cdot (49)^2} = 0,3687$$

$$\Delta h_f = 0,465 \times 196^{1,75} \times 13,6^{-4,75} \times (74,72) \times (0,3 \times 49) \times 0,3687 = 0,6497$$

$$C = \frac{\Delta Z_r}{\Delta h_f} = \frac{1,4944}{0,6497} = 2,3001$$

$1 < C < 2,75$ . Esto significa que la variación total de cota es mayor que la variación total de energía. La variación de energía es muy acusada al final y muy suave al principio. La presión bajará desde la cabeza del ramal hasta el punto de mínima presión; a partir de ahí aumenta, alcanzando su valor máximo al final del ramal.

El punto de menor presión estará cercano a la cabeza del ramal portagoteros y el de mayor presión estará al final de dicho ramal, por tanto:

Suponemos  $im = 1$ ;

$$h_M = h_o + (im \times \Delta Zr) - [1 - (1 - im)^{m+1}] \times \Delta h_f; h_M = 10,5739 \text{ m.c.a.}$$

$$im = 1 - \left( \frac{\Delta Zr}{(m+1) \cdot \Delta h_f} \right)^{1/m} = 0,097$$

$$h_m = h_o - i \cdot \Delta Zr + [1 - (1-i)^{m+1}] \times \Delta h_f = 9,2255 \text{ m.c.a.}$$

$$\Delta H_{pg} = h_M - h_m = 10,5739 - 9,2255 = 1,3484 \text{ m.c.a.}$$

$\Delta H_{pg} <$  tolerancia máxima de presiones.

1,3484 m.c.a.  $<$  2,3569 m.c.a., por lo tanto, CUMPLE.

El diámetro adoptado es válido. Las tuberías portagoteros serán de PEBD, de  $P_n = 2,5 \text{ atm}$  y diámetro exterior/interior = **16/13,6 mm**.

#### 4.5. Cálculo de los portarramales

Para el cálculo de las tuberías portarramales, se procede de igual forma que en las anteriores tuberías portagoteros. En este caso, el portarramal más desfavorable da suministro a la unidad 1, con una longitud de 311,3 m y con pendiente despreciable. Existen otros 3 portarramales más, con longitudes de 278, 219 y 126,5 m. Al portarramal de 219 m se le asignará la misma dimensión de tubería que al ramal de 311 m, ya que tienen un caudal semejante. El resto de portarramales se les dimensionará una tubería acorde con su caudal.

Primeramente, dimensionaremos el portarramal de 311,3 m, empezando por el cálculo del caudal del portarramal ( $Q_{pr}$ ):

$$Q_{pr} = 3543 \text{ vides} \times 4 \text{ L/h} \times \text{vid}^{-1} = 14172 \text{ L/h}$$

Tras realizar algunas estimaciones, tanteamos con una tubería de PEBD de  $P_n = 4 \text{ atm}$ , de diámetro exterior/interior = 63/55,4 mm.

Calculamos el régimen del agua que circulará por la tubería y así elegir la ecuación más aproximada para su cálculo:

$$Re = 352,64 \times (Q_{pr}/D) = 352,64 \times (14172 / 55,4) = 90209,64$$

Siendo:

- Re: número de Reynolds.
- $Q_{pr}$ : caudal del portarral en L/h
- D: diámetro interior del portarramal en mm

En este caso, estamos dentro del intervalo de Régimen turbulento liso ( $4000 \leq Re \leq 10^5$ ), por tanto aplicamos la ecuación de Blasius para el cálculo de las pérdidas de carga unitaria.

$$J = 0,473 \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} = 0,0455 \text{ m/m.c.a.}$$

Las pérdidas de carga ocasionadas por las conexiones entre portarramal y portagoteros no se considerarán por ser insignificativas. De forma que la pérdida de carga total ( $h_f$ ) será:

$$h_f = J \cdot F \cdot L = 0,0455 \cdot 0,3688 \cdot 311,3 = 5,2259 \text{ m.c.a.}$$

En este caso F (Coeficiente de Christiansen), con  $N = 98$  (desviaciones hacia los portagoteros), y  $m = 1,75$  (tuberías de PE) tendrá un valor de:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 \cdot N^2} = 0,3688$$

El punto de menor presión estará en el extremo del portarramal y el de mayor presión estará al inicio de dicho ramal, por tanto:

$$H_o = H_N + (0,733 \times h_f) = 13,8306 \text{ m.c.a.}$$

$$H_m = H_o - (0,267 \times h_f) = 12,4353 \text{ m.c.a.}$$

$$H_M - H_m = 13,8306 - 12,4353 = 1,3953 < \Delta H_{pr} = 2,3569 \text{ m.c.a.} \rightarrow \text{cumple}$$

El diámetro adoptado es válido. Las tuberías portarramales para la unidad 1 y 2 serán de PEBD, de  $P_n = 4$  atm y diámetro exterior/interior = **63/55,4 mm**.

Del mismo modo, dimensionaremos el portarramal de 278 m de longitud:

$$Q_{pr} = 2250 \text{ vides} \times 4 \text{ L/h} \times \text{vid}^{-1} = 9000 \text{ L/h}$$

Tras realizar algunas estimaciones, tanteamos con una tubería de PEBD de  $P_n = 4$  atm, de diámetro exterior/interior = 50/44 mm.

$$Re = 352,64 \times (Q_{pr}/D) = 352,64 \times (9000 / 35,2) = 72130,91$$

Por tanto, podemos aplicar la ecuación de Blasius para el cálculo de las pérdidas de carga unitaria.

$$J = 0,473 \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} = 0,0614 \text{ m/m.c.a.}$$

La pérdida de carga total ( $h_f$ ) será:

$$h_f = J \cdot F \cdot L = 0,0614 \cdot 0,3686 \cdot 278 = 6,2949 \text{ m.c.a.}$$

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 \cdot N^2} = 0,3686$$

El punto de menor presión estará en el extremo del portarramal y el de mayor presión estará al inicio de dicho ramal, por tanto:

$$H_o = H_N + (0,733 \times h_f) = 14,6141 \text{ m.c.a.}$$

$$H_m = H_o - (0,267 \times h_f) = 12,9334 \text{ m.c.a.}$$

$$H_M - H_m = 14,6141 - 12,9334 = 1,6807 < \Delta H_{pr} = 2,3569 \text{ m.c.a.} \rightarrow \text{cumple}$$

El diámetro adoptado es válido. La tubería portarramal para la unidad 3 será de PEBD, de  $P_n = 4 \text{ atm}$  y diámetro exterior/interior = **50/44 mm**.

Del mismo modo, dimensionaremos el portarramal de 126,5 m de longitud:

$$Q_{pr} = 1160 \text{ vides} \times 4 \text{ L/h} \times \text{vid}^{-1} = 4640 \text{ L/h}$$

Tras realizar algunas estimaciones, tanteamos con una tubería de PEBD de  $P_n = 4 \text{ atm}$ , de diámetro exterior/interior = 32/28 mm.

$$Re = 352,64 \times (Q_{pr}/D) = 352,64 \times (4640 / 28) = 58437,49$$

Por tanto, podemos aplicar la ecuación de Blasius para el cálculo de las pérdidas de carga unitaria.

$$J = 0,473 \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} = 0,1621 \text{ m/m.c.a.}$$

La pérdida de carga total ( $h_f$ ) será:

$$h_f = J \cdot F \cdot L = 0,1621 \cdot 0,3726 \cdot 126,5 = 7,6404 \text{ m.c.a.}$$

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 \cdot N^2} = 0,3726$$

El punto de menor presión estará en el extremo del portarramal y el de mayor presión estará al inicio de dicho ramal, por tanto:

$$H_o = H_N + (0,733 \times h_f) = 15,6004 \text{ m.c.a.}$$

$$H_m = H_o - (0,267 \times h_f) = 13,5604 \text{ m.c.a.}$$

$$H_M - H_m = 15,6004 - 13,5604 = 2,04 < \Delta H_{pr} = 2,3569 \text{ m.c.a.} \rightarrow \text{cumple}$$

El diámetro adoptado es válido. La tubería portarramal para la unidad 4 será de PEBD, de  $P_n = 4 \text{ atm}$  y diámetro exterior/interior = **32/28 mm**.

#### 4.6. Diseño de la tubería secundaria

El material escogido para la tubería secundaria ha sido el PVC. Este no se puede utilizar al aire libre debido a que la acción de los rayos solares descompone sus polímeros. Es por ello que se debe enterrar a una determinada profundidad, en función del diámetro, que según el Soil Conservation Service, es la siguiente:

$$\begin{aligned} 20 < D < 75 \text{ mm} &\rightarrow 45 \text{ cm} \\ 75 < D < 110 \text{ mm} &\rightarrow 60 \text{ cm} \\ D > 110 \text{ mm} &\rightarrow 75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Se ha escogido PVC de presión nominal 10 atmósferas (103,3 m.c.a.). En el caso del PVC, la presión se ve también modificada por la temperatura, pero en menor proporción que en el PE. Suponiendo que se alcanzan temperaturas cercanas a los 35°C, la presión de trabajo se vería reducida a 82,64 m.c.a. (factor = 0,8), presión mucho mayor que la que van a soportar las tuberías.

Cada unidad irá equipada, al inicio de la misma, con un arquillo regulador que constará de una electroválvula y de un regulador de presión. El regulador de presión es para que la presión de entrada en cada unidad no varíe durante el riego, y además evitar sobrepresiones en las tuberías que podrían provocar roturas. La colocación de electroválvulas permite al programador de riego abrir o cerrar la válvula impidiendo el paso del agua, lo que en definitiva permite la automatización de la instalación. La única tubería secundaria que existirá será la que va desde la unidad de riego 3 hasta la unidad 4. Esto es debido a que a las demás unidades de riego la tubería primaria conecta directamente con la tubería portarramales.

Para el diseño de la tubería se ha impuesto un criterio, y es que la velocidad del agua en la tubería no supere los 1,5 m/s. Conocido el caudal que circula por la tubería y conocida la velocidad de paso del agua se obtiene el diámetro más conveniente. Seguidamente se calculan las pérdidas de carga que se van a producir en el tramo. Por último, y una vez conocidas todas las presiones necesarias en cada punto, se busca el punto más desfavorable con respecto al inicio de la red, para así saber la presión máxima necesaria en la cabeza del sistema.

En lo referente a las pérdidas de carga en las singularidades, estas no van a ser calculadas una por una, si no que se va a suponer que constituyen un porcentaje de la presión total necesaria para cada red.

La disposición exacta de la tubería secundaria se puede observar con mayor detalle en el plano correspondiente. A continuación se muestran los cálculos realizados:

1º) Se dimensiona la tubería con el criterio de que la velocidad máxima del agua no supere los 1,5 m/s. Una vez conocido el diámetro se calculan las pérdidas de carga que se van a producir en cada tramo de tubería. Para ello partimos de las siguientes formulas:

$$D = \sqrt[4]{(4 \cdot Q) / (\pi \cdot u)}$$

$$h_f = 0,465 \times Q^{1,75} \times D^{-4,75} \times L$$

Siendo:

- U: velocidad máxima del agua (1,5 m/s)

Los datos de partida y los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Tubería secundaria.**

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m³/s)	U (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
U3-U4	4640	0,00129	1,50	110,5	33,09	40	36,2	5,289

2º) Conocida la presión desfavorable en cada punto se comprueba cual es el valor con respecto al inicio de la red:

### Unidad 3

$$H_0 = H_3 + h_{f0-3} \rightarrow h_0 + z_0 = h_3 + z_3 + h_{f0-3} = 14,6141 + (982 - 982) + 0$$

$$H_0 = 14,6141 \text{ m.c.a.}$$

Unidad 4

$$H_0 = H_4 + h_{f0-4} \rightarrow h_0 + z_0 = h_4 + z_4 + h_{f0-4} = 15,6004 + (980 - 982) + 5,289$$

$$H_0 = 18,8894 \text{ m.c.a.}$$

La presión necesaria máxima en la unidad es de 18,8894 m.c.a. suponiendo unas pérdidas de carga en las singularidades de la red del 5% de la, presión total, se obtiene una presión de  $18,8894 \times 1,05 = 19,8339$  m.c.a.

**4.7. Diseño de las tuberías principales**

Se van a diseñar tres tuberías principales, de manera que se pueda facilitar la automatización del riego. Estas tuberías irán desde el inicio de las unidades 1, 2 y 3 hasta la cabeza del sistema de riego, situada en un almacén. Las tuberías serán de PVC con una presión nominal de 10 atmósferas. Se pondrá una electroválvula reguladora de presión en el inicio de cada tubería (en la cabeza del sistema).

Al igual que en el cálculo de la secundaria, el criterio a seguir es que la velocidad del agua ni exceda los 1,5 m/s, ni sea inferior a 0,5 m/s.

Unidad 1

Al tratarse del mismo material que en el caso de la tubería secundaria, la forma de cálculo es la misma.

$$D = \sqrt[3]{(4 \cdot Q) / (\pi \cdot u)}$$

$$h_f = 0,465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times L$$

Se adjunta tabla resumen de los datos y cálculos:

**Tabla 5. Tubería primaria del sector A.**

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
1	14172	0,003937	1,50	34,5	57,8	75	67,8	0,5914

Comprobamos la velocidad del agua:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2} = 1,09 \text{ m/s}$$

$D = 67,8 \text{ mm} \rightarrow u = 1,09 \text{ m/s} > 0,5 \text{ m/s}$ , la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_1 + h_{f1-\text{cabeza}} \rightarrow h_{\text{cab}} = h_1 + Z_1 + h_{f1-\text{cab}} - Z_{\text{cab}}$$

$$h_{\text{cab}} = 13,8306 + 985 + 0,5914 - 982 = 17,422 \text{ m.c.a.}$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal de la unidad 1 será, 17,422 m.c.a.

### Unidad 2

**Tabla 6. Tubería primaria del sector B.**

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
2	13940	0,00387	1,50	10,5	57,31	75	67,8	0,1749

Comprobamos la velocidad del agua:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2} = 1,07 \text{ m/s}$$

D = 67,8 mm → u = 1,07 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_2 + hf_{2\text{-cabeza}} \rightarrow h_{\text{cab}} = h_2 + Z_2 + hf_{2\text{-cab}} - Z_{\text{cab}}$$

$$h_{\text{cab}} = 13,8306 + 983 + 0,1749 - 982 = 15,0055 \text{ m.c.a.}$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal de la unidad 2 será, 15,0055 m.c.a.

### Unidad 3

**Tabla 7. Tubería primaria del sector C.**

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
3	13640	0,00379	1,50	7,5	56,72	63	57	0,2742

Comprobamos la velocidad del agua:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2} = 1,48 \text{ m/s}$$

D = 75 mm → u = 1,48 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_3 + hf_{3\text{-cabeza}} \rightarrow h_{\text{cab}} = h_3 + Z_3 + hf_{3\text{-cab}} - Z_{\text{cab}}$$

$$h_{\text{cab}} = 14,6141 + 982 + 0,2742 - 982 = 14,8883 \text{ m.c.a.}$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal de la unidad 3 y 4 será, 14,8883 m.c.a.

### **4.8. Diseño del cabezal de riego**

Para diseñar la cabeza del sistema de riego se tendrá en cuenta el caudal total (41752 L/h) y la energía máxima (17,422 m.c.a.).

En este apartado se van a enumerar los componentes que forman la cabeza del sistema de riego, destacando las características más importantes cada uno. Una representación esquematizada aparece en el Documento Básico N°2 Planos.

### Electroválvula

Al inicio de la cabeza del sistema se pondrá una electroválvula en "Y", normalmente cerrada, con brida de 4" de diámetro. La presión máxima que soporta la válvula es de 160 m.c.a. y la mínima de 7 m.c.a.

Para un caudal de 96,8 m<sup>3</sup>/h producirá unas pérdidas de carga de 2,5 m.c.a.

### Sistema de suministro de agua a depósitos

Después de la electroválvula se pondrá una derivación con reducción hacia un sistema de tuberías cuyo fin será suministrar agua a los depósitos (fertilizantes y fitosanitarios). En dicho sistema se pondrán cuatro válvulas de 2" cada una para controlar la entrada del agua. La pérdida de carga que se producirá se estima en 1 m.c.a.

### Filtros de arena

Seguidamente se pondrán dos filtros de arena, con el fin de limpiar el agua de restos orgánicos y sólidos en general, ya que esta vendrá de un pozo. Para su diseño se ha actuado de la siguiente manera:

El caudal máximo se incrementa en un 20% (coeficiente de seguridad). La velocidad máxima del agua = 60 m<sup>3</sup>/h (de modo que no se supere el caudal recomendado de 60 m<sup>3</sup>/h por cada m<sup>2</sup> de superficie de filtro

$$Q = 41752 \times 1.2 = 50102,4 \text{ L/h} = 50,102 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego la superficie filtrante del lecho de arena será:

$$\text{Superficie filtrante (S)} = Q/v = 50,102/60 = 0,835 \text{ m}^2$$

Y el diámetro de la sección transversal más estrecha del filtro, expresado en metros:

$$D = \sqrt{(4 \times S)/\pi} = 1,03 \text{ m}$$

Se pondrá un filtro de 1,2 m de diámetro comercial.

El filtro seleccionado tendrá las siguientes características:

- Brida de 4" diámetro
- 1200 mm de diámetro
- 1265 mm de altura total

- Caudal máximo. 70 m<sup>3</sup>/h
- Peso: 245 Kg
- Peso arena: 850 Kg
- Peso total: 1240 Kg

La pérdida de carga será la siguiente

$$Q = 17,283 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow hf = 1,77 \text{ m.c.a}$$
$$hf \text{ máxima} = 2 \text{ m.c.a.}$$

La pérdida de carga máxima que se producirá en el filtro será de 2 m.c.a.

A la entrada y a la salida de los filtros se pondrá un manómetro de glicerina, con el fin de controlar las pérdidas de carga y saber cuando es necesario limpiar el filtro.

### Sistema de herbigación

Después de los filtros de arena aparece una derivación de la red principal hacia un equipo de herbigación. Este consiste en un venturi de 1", cuyo estrechamiento está conectado con un depósito de poliéster de 250 litros de capacidad. Para crear la diferencia de presión que haga irse parte del agua de la red principal hacia el venturi, se ha dispuesto en la misma una válvula de mariposa de 4". La pérdida de carga que producirá será de 1,5 m.c.a. Además, se han colocado tres válvulas de bola para abrir y cerrar el sistema según se necesite.

### Programador de riego y abonado

A continuación del equipo de herbigación se colocará un programador de riego y abonado con control automático de pH y CE para dos cuerpos de inyección con cuba de mezclas. Estará provisto de:

- grupo electrobomba trifásico, de acero inoxidable, auxiliar de los venturis, de 0,75 C.V., para elevar 8,07 m<sup>3</sup>/h a 17,5 m.c.a.
- dos venturis de 2".
- grupo electrobomba trifásico, de acero inoxidable, para la inyección en la red del fertilizante, de 2,5 C.V., que eleve 10,76 m<sup>3</sup>/h a 27 m.c.a.
- conjunto de toma de abonado, valvulería y demás accesorios.

El sistema estará conectado a dos depósitos de poliéster de 1000 litros cada uno, de donde cogerá las cantidades necesarias de fertilizantes para efectuar el fertirriego.

### Depósitos

Tal y como se ha explicado anteriormente se dispondrán tres depósitos de poliéster, dos de 1000 litros y uno de 250 litros de capacidad.

### Filtros de malla

La filtración mínima recomendada para el gotero que se va a poner es 120 mesh. En nuestro caso se va a considerar una filtración de 150 mesh que supone un tamaño de orificio menor de 114  $\mu\text{m}$ .

Como criterio se va a determinar que la velocidad del agua sea mayor de 0.4 m/s. Teniendo en cuenta esta velocidad y para el tamaño de orificio finado se obtiene un caudal por  $\text{m}^2$  de área total de filtro igual a 446  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Seguidamente se calcula la superficie de filtrado necesaria:

$$S = (61,82 \text{ m}^3/\text{h}) / (446 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2) = 0,139 \text{ m}^2$$

Se va a poner un filtro de 4" de diámetro, en el que el cilindro filtrante tiene un diámetro de 0,15 m y una longitud de 0,5 m. La superficie filtrante es de 0,24  $\text{m}^2$ .

La pérdida de carga será la siguiente:

$$Q = 61,824 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow hf = 1,47 \text{ m.c.a}$$

$$Hf \text{ máxima} = 1,9 \text{ m.c.a.}$$

La pérdida de carga máxima será de 1,9 m.c.a.

A la entrada y a la salida de los filtros se pondrá un manómetro de glicerina

### Contador

Después de los filtros y antes de la derivación hacia cada sector de riego, se pondrá un contador Woltman de eje vertical, con brida de 4" de diámetro, que producirá una pérdida de carga de 2,5 m.c.a.

### Electroválvulas reguladoras de presión

Después del contador la tubería principal se dividirá en tres tramos de igual diámetro. En cada uno de estos se situará una electroválvula reguladora de presión de 4" normalmente cerrada, con el fin de controlar el paso del agua cada uno de los tres sectores. La pérdida de carga máxima que se producirá en cada electroválvula será de 2,5 m.c.a. Teniendo en cuenta que cada sector se va a regar en distinto momento, solo se tendrá en cuenta una de ellas a la hora de calcular la pérdida de carga total en la cabeza del sistema.

Las pérdidas de carga totales que se van a producir en la cabeza del sistema de riego se estiman en 11,8 m.c.a. Dejando un margen de variación del 5% se obtendrá una pérdida total de energía de 12,49 m.c.a.

Teniendo en cuenta que la presión máxima necesaria a la salida de la cabeza del sistema es de 17,422 m.c.a, se requerirá una energía mínima al inicio de la misma de 29,91 m.c.a.

#### 4.9. Diseño de la tubería que va desde el embalse al cabezal de riego

El embalse se encuentra a una altura de 983m sobre el nivel del mar, mientras que el cabezal está a 982 m. Esta diferencia de cota nos proporciona una energía fija de 1 metro. A esta energía disponible habrá que restarle las pérdidas de energía que se van a producir en la conducción del agua desde el embalse hasta el inicio de la cabeza de riego, obteniéndose así parte de la energía fija utilizable para el riego.

La tubería que va desde el embalse hasta la cabeza de riego se va a dimensionar utilizando como material de PVC de presión nominal 10 atmósferas. El caudal máximo que va a circular por la tubería será de (41752 L/h). La longitud total de la tubería será de 50 metros. Al igual que en los casos anteriores, el criterio a seguir es que la velocidad del agua no supere los 1,5 m/s.

Las fórmulas que utilizaremos, como en casos anteriores, serán:

$$D = \sqrt{(4 \cdot Q)/(\pi \cdot u)}$$

$$h_f = 0,465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times L$$

**Tabla 8. Tubería embalse-cabezal.**

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
emb-cab	41752	0,0116	1,50	50	99,19	110	101,6	0,8315

Comprobamos la velocidad del agua:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2} = 1,43 \text{ m/s}$$

$D = 101,6 \text{ mm} \rightarrow u = 1,43 \text{ m/s} > 0,5 \text{ m/s}$ , la velocidad es buena.

La presión disponible a la entrada de la cabeza de riego será la siguiente:

$$H_{\text{embalse}} = H_{\text{cab}} + h_{f \text{ embalse-cab}} \rightarrow h_{\text{cab}} = h_{\text{embalse}} + (Z_{\text{embalse}} - Z_{\text{cab}}) - h_{f \text{ embalse-cab}}$$

$$h_{\text{cab}} = 0 + (983 - 982) - 0,8315 = 0.1685 \text{ m.c.a.}$$

Como la pérdida de carga en la cabeza del sistema se ha estimado en 12,49 m.c.a. la energía disponible en el inicio de las tuberías principales de cada sector será:

$$H = 0,1685 - 12,49 = -12,3215 \text{ m.c.a} < 17,422 \text{ m.c.a.}$$

Esto nos obliga a dimensionar un equipo de bombeo para alcanzar la presión necesaria de riego.

#### 4.10. Diseño del equipo de bombeo.

Con el fin de conseguir un riego correcto y uniforme se instalará una bomba capaz de alcanzar el caudal y la presión demandados. La fórmula a utilizar y los datos necesarios para el cálculo de la bomba son los siguientes:

$$H_D + \Delta H = H_1 + hf_{D-B} + hf_{B-1} + hf_{CABEZAL}$$

De donde:

$H_D$  = energía en el depósito (cota balsa).

$\Delta H$  = incremento necesario de energía.

$H_1$  = energía necesaria en cabeza de la unidad 1 de riego.

$hf_{D-B}$  = pérdidas de energía desde la balsa hasta la bomba.

$hf_{B-1}$  = pérdidas de energía desde la bomba hasta la cabeza de la unidad 1 de riego.

$hf_{CABEZAL}$  = sumatoria de todas las pérdidas de energía producidas por las diferentes singularidades en el cabezal de riego.

$$\Delta H = 17,422 - 983 + 982 + 0,8315 + 0,5914 + 12,49 = 30,3349 \text{ m.c.a.}$$

$\eta$  = rendimiento de la bomba, que en este caso hemos elegido una con un rendimiento del 0,7

$$P = \frac{\Delta H \cdot Q \cdot \gamma}{\eta} = \frac{30,3349 \cdot 0,0116 \cdot 9810}{0,7} = 4930,47W$$

La bomba necesaria debe de ser capaz de suministrar una potencia de 4930,47 W, o lo que es lo mismo, **4,93 Kw**.

#### 4.11. Diseño de la tubería que va desde la toma de agua hasta la balsa.

El agua proviene de la comunidad de regantes de trevélez. Existe una toma a 26,5 metros de la balsa de la cual se alimentará el tubo que va hasta la balsa.

El caudal que pasará por la tubería que diseñaremos es de 10 L/s, y como en ocasiones anteriores, será un tubo de PVC en el que el agua lleve una velocidad comprendida entre 1,5 y 0,5 m/s.

Al tratarse del mismo material que en casos anteriores, la forma de cálculo es la misma.

$$D = \sqrt{(4 \cdot Q)/(\pi \cdot u)}$$

$$h_f = 0,465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times L$$

Se adjunta tabla resumen de los datos y cálculos:

Tabla 5. Tubería primaria del sector A.

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	hf (m.c.a.)
Toma-Balsa	36000	0,01	1,50	26,5	92,13	110	101,6	0,3497

Comprobamos la velocidad del agua:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2} = 1,23 \text{ m/s}$$

D = 101,6 mm → u = 1,23 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

## 5. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

### 5.1. Bibliografía

- PASTOR MUÑOZ-COBO, M. (2005) Cultivo con Riego Localizado. Ed. Mundi-prensa.
- FUENTES J. L. (1998). Técnicas de riego. Ed. Mundi-Prensa.
- LOSADA, A.1996. El Riego. Fundamentos hidráulicos. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- LOSADA, A.1996. Riegos. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- PIZARRO, F.1996. Riegos localizados de alta frecuencia. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.