

Anejo N° 11

Diseño hidráulico

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN	3
2.1. Cabezal de riego	3
2.2 Red de distribución	4
2.3 Goteros	5
3. DISTRIBUCIÓN DEL RIEGO	7
4. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	7
4.1. Dimensionado portarramales y portagoteros en los sectores	7
4.2. Diseño de las tuberías secundarias	51
4.3. Diseño de las tuberías principales	58
4.4. Diseño del cabezal de riego.	60
4.5. Diseño de la tubería que va desde el embalse al cabezal de riego	62
5. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA	64

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este anejo es el de dimensionar todos los componentes de la instalación de riego, así como los necesarios para la impulsión y conducción del agua desde el pozo hasta la balsa.

Se va a optar por un sistema de riego por goteo, el cual consiste en la aplicación localizada del agua de riego al cultivo a través de unos emisores denominados goteros, desde unas tuberías de distribución por las que circula a una cierta presión.

Se ha elegido este sistema por una serie de ventajas, como el ahorro importante de agua, pues el riego por goteo permite la aplicación de pequeñas dosis de riego de forma frecuente, con la consecuencia de un adecuado nivel de humedad en el entorno de la raíz. De la misma forma, se produce un ahorro de fertilizantes, ya que estos se disponen próximos a la raíz y además se pueden fraccionar mejor según las necesidades de la planta. Al disponer la cepa de forma fácil agua y nutrientes, se produce un aprovechamiento menos costoso desde el punto de vista energético.

2. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

2.1. Cabezal de riego

Se encuentra ubicado en una sala específica de la nave, está formado por el equipo de filtrado y el de fertirrigación.

2.1.1 Equipo de filtrado

Es importante un buen equipo de filtrado, ya que el gotero produce una pérdida de presión, donde se pueden producir fácilmente obturaciones por partículas que lleve el agua, ya sea en el propio gotero o en la piqueta.

2.1.2 Equipo de fertirrigación

Está constituido por los instrumentos encargados de la inyección o dosificación de los productos químicos en la conducción general del riego y el depósito fertilizante. Los fertilizantes se encontrarán en los tanques de abonado, que consistirán en un depósito conectado en paralelo a la red de riego. El depósito debe resistir la presión de la red.

2.2 Red de distribución

Englobamos bajo esta denominación al conjunto de tuberías y automatismos que van desde el cabezal de riego hasta los emisores (goteros).

El primer elemento que nos encontramos es la máquina de riego, está constituida por un PC y los dispositivos de conexión, actuación y sensores necesarios (de CE y pH).

2.2.1 Ordenador

Se divide en dos partes:

- Unidad lógica de control, se encarga de procesar los datos que recibe de la unidad de programación, unidad de medida del caudal, unidad de inyección y otros factores, transformándolos en órdenes para el equipo de aspiración/impulsión, electroválvulas, etc.
- Unidad de programación, actúa comunicando al usuario con el ordenador, enviando la información a la unidad lógica.

El ordenador puede entrar en funcionamiento manualmente, por decisión del usuario o en función de distintas programaciones (tiempos, volúmenes, evaporación, radiación, etc).

2.2.2 Red principal de distribución o tubería primaria.

Se encarga de llevar el agua desde el cabezal de riego hasta el comienzo de cada sector, transportando el caudal que demanda cada uno de ellos. Cada sector dispondrá, aguas arriba, de un regulador de presión, un manómetro, y una llave de regulación, permitiendo su aislamiento cuando sea necesario. Se dimensionará en PVC (policloruro de

vinilo) cuyas dimensiones y diámetros se expondrán más adelante. Irán enterradas para evitar los efectos negativos de de la radiación solar y temperatura. La profundidad se determinará en función del diámetro. La arena con la cual se entierren irá exentas de piedras para evitar posibles daños a la tubería.

2.2.3 Tuberías secundarias

Conducen el agua que circula por la primaria a cada uno de las unidades de riego. Se dimensionarán en PVC igualmente, siguiendo los mismos criterios anteriores.

2.2.4 Tuberías portarramales

Se dimensionarán en PE (polietileno). Se colocarán perpendicularmente a las líneas de cultivos.

2.2.5 Tuberías portagoterros

Se dimensionarán en PE, éstas seguirán las líneas del cultivo. Irán colocadas cada 4 metros y llevarán insertos los goteros.

2.3 Goteros

Los goteros o emisores de riego son dispositivos que controlan la salida del agua desde las tuberías portagoterros. En nuestra instalación contaremos con goteros autocompensantes y antidrenantes, de esta forma se mantiene el caudal constante durante un amplio rango de presión.

Características del emisor elegido:

- Caudal nominal: 4 L/h.
- Autocompensante, antidescarga y autolimpiante
- De laberinto.
- Presión nominal: 10 m.c.a.

- Coeficiente de variación de fabricación (CVk): 1%

- Longitud equivalente: 0.3 m.

La ecuación característica para el modelo elegido es: $Q = K \cdot h^x$

Donde:

K = coeficiente característico de cada emisor. (K = 1.265)

h = presión en KPa

x = exponente de descarga de cada emisor. (x = 0,5)

2.4. Accesorios de la red de riego

2.4.1 Elementos de medida

Medidores de caudal y de presión. Es imprescindible medir la presión a la salida del grupo de bombeo, a la entrada y salida de los filtros y del equipo de fertirrigación. Es recomendable medir a la entrada de los sectores de riego.

2.4.2. Piezas especiales

Unidades que posibilitan los empalmes, cambios de dirección (codos), derivaciones, variaciones de sección, etc.

2.4.3. Dispositivos auxiliares

Aparatos que protegen y facilitan el buen funcionamiento de la red. Los más importantes son las válvulas y ventosas.

3. DISTRIBUCIÓN DEL RIEGO

En el siguiente cuadro se hace un resumen de cada uno de los sectores de riego.

Sector	Unidades de riego	Nº de cepas	Caudal máximo (L/h)
A	4	2399	47720
B	3	2458	48500
C	4	2511	50192
	11	7368	146412

4. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

4.1 Dimensionado portarramales y portagoteros en los sectores.

A la hora de diseñar un sistema de riego por goteo el procedimiento es el siguiente:

1) Conocido el CV_k (coeficiente de variación de fabricación) y UD_q (uniformidad global) hallamos la uniformidad de la distribución de la fabricación (UD_k) y con ello la uniformidad de distribución de variabilidad hidráulica (UD_{hx}).

$$UD_k = 1 - 1,27 CV_k$$

$$UD_{hx} = 1 - \sqrt{[(1 - UD_q)^2 - (1 - UD_k)^2]}$$

2) Con UD_{hx} y el caudal nominal (q_N) hallamos el caudal mínimo (q_m)

$$q_m = q_N \times UD_{hx}$$

3) Con q_m y la expresión del gasto del gotero elegido hallamos h_m.

$$h_m = \left(\frac{q_m}{k} \right)^{\left(\frac{1}{x} \right)}$$

4) Conocida h_m y h_N obtenemos la tolerancia de presiones $\Delta H = 2.5(h_N - h_m)$. Este dato nos limitará el dimensionado tanto del ramal portagoteros como del ramal portarramales.

Entonces:

Los valores de coeficientes de uniformidad recomendados (Pizarro, 1996) para cultivos permanentes o semipermanentes, de zonas áridas y pendiente uniforme u ondulada mayor al 2% el rango recomendado de CU es 0,80 – 0,90. En nuestro caso cogemos 0.85.

$$UDq = 0,85$$

$$UDk = 0,9873$$

$$UDhx = 0,8505$$

$$q_m = 3,402 \text{ L/h}$$

$$h_m = 7,233 \text{ m.c.a.}$$

$$\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = \mathbf{6.92 \text{ m.c.a.}}$$

Este valor de tolerancia de presiones habrá que tenerlo en cuenta a la hora de dimensionar las unidades de riego de los 3 sectores, pues es el que marca la tolerancia máxima en cada unidad de riego. Es decir, es el parámetro que relaciona el ramal portarramales y el portagoteros.

Sector A

Unidades A1 y A2:

Dimensionado de TPG

Longitud mayor TPG: 85,55 metros

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(85,55 metros → 22 cepas → 110 goteros → 440 L/h)
- D = diámetro (mm)

- $L = \text{longitud del ramal} = 85,55 \text{ m.}$
- $L_e = \text{Longitud equivalente, } 0,3 \text{ m.}$
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75 \text{ PVC y P.E.}$
- $N: \text{numero de goteros (110)}$

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 110} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 110^2} = 0,3683$$

$$hf = 0.465 \times 440^{1.75} \times D^{-4.75} \times (85,55 + 110 \times 0,3) \times 0,3683$$

$D = \text{diámetro de la tubería en m.}$ El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre $0,6$ y $2,25 \text{ m s}^{-1}$ (Pizarro, 1996), por debajo de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a $2,25 \text{ m s}^{-1}$, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- $D = \text{diámetro}$
- $Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)} = 440 \text{ L/h} \rightarrow 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- $u = \text{velocidad (m/s)}$

$$\text{entonces: } D = \sqrt{\frac{4 \times 1,22 \times 10^{-4}}{\pi \times 1,5}} = 0,011 \text{ m.} \approx 13,2 \text{ mm (comercial)}$$

$hf = 0.465 \times 440^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (85,55 + 110 \times 0,3) \times 0,3683 = 4,08$ m.c.a (-4,08 m.c.a. como pérdida de carga). Es una pérdida alta en el portagoteros, por lo que en el portarramales no nos queda margen suficiente de pérdida de carga teniendo en cuenta que es una longitud grande (163,88 metros) y una pendiente del 5 %. Por, elegimos el diámetro comercial inmediatamente superior. $D = 17$ mm (interior)

$$hf = 0.465 \times 440^{1.75} \times 17^{-4.75} \times (85,55 + 110 \times 0,3) \times 0,3683 = 1,23 \text{ m.c.a.}$$

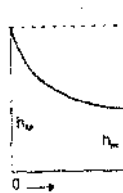
Ahora la pérdida de carga en el ramal portagoteros más desfavorable es bastante menor, por lo que hay más margen para la pérdida de carga del portarramales y el criterio de la velocidad del agua también se cumple.

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 5.69$ m.c.a.

Las pérdidas de carga de las tuberías nunca deberán de superar la tolerancia de presiones. En el caso del portagoteros son de 1,23 m.c.a. y en el caso del portarramales serán de 5,69 m.c.a. El sistema se diseñará para optimizar al 100% estas restricciones.

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$$h_{M\acute{A}X} \text{ (en cabeza)} = h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-1,23) = 10,90 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{M\acute{I}N} \text{ (en cola)} = h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1 - i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 10,90 + (-1,23) = 9,67 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 20/17 mm

Dimensionado de portarramales.

Unidad A1

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 5.69$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius.

- Antes calculamos el caudal del portarramales más desfavorable en cada unidad
 - Longitud: 79,84 m.
 - Hay un total de 273 cepas, con 5 goteros/cepa. = 1365 goteros
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 1365 \times 4 = 5460$ L/h
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
 - 20 TPG

Entonces nos queda:

$$F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} = F = \frac{1}{2,75} \times \frac{1}{40} \times \frac{\sqrt{(0,75)}}{6 \times 20^2} = 0,3890$$

$$hf = 5,69 = 0.465 \times 5460^{1.75} \times D^{-4.75} \times (79,84 + 20 \times 0,2) \times 0,3890$$

$$D = 29,27 \text{ mm} \rightarrow 40/35,2 \text{ mm (comercial)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 5460^{1.75} \times 35,2^{-4.75} \times (79,84 + 20 \times 0,2) \times 0,3890$$

$$hf = 2,37 \text{ m.c.a.} < 5,69 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 40/35,2

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

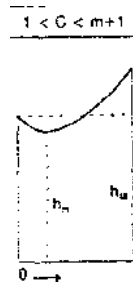
Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 79,84 = -3,99$$

$$\Delta H = -2,37$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H R} = 1,68 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según este}$$

diagrama.



$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 10,90 - 0,733 \times (-2,37) + \frac{-3,99}{2} = 10,64 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-3,99}{(2,75)(-2,37)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,24$$

$$h_i(i=0,24) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1-i)^{(m+1)}]\Delta H_R = 10,64 - 0,24 \times (-2,37) + [1 - (0,76)^{2,75}](-2,37) = 9,95 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i=1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1-i)^{(m+1)}]\Delta H_R = 10,64 - 1 \times (-3,99) + [1 - (0)^{2,75}](-2,37) = 12,26 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,31 m.c.a. < 2,37 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego A1 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Distribución de presiones en la unidad A1:

- **h mínima:** Cola del portagoteros que está a 19,1 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $9,95 - 1,23 = 8,72 \text{ m.c.a.}$
- **h máxima:** Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **12,26 m.c.a.**
 - $\Delta H = 3,54 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- Diámetros A1
 - TPR: 40/35,2
 - TPG: 20/17

Unidad A2

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 5.69$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius.

- Antes calculamos el caudal del portarramales más desfavorable en cada unidad
 - Longitud: 109,25 m.
 - Hay un total de 1092 cepas, con 5 goteros/cepa. = 5460 goteros
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4\text{L/h} = 5460 \times 4 = 21840 \text{ L/h}$
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
 - 54 TPG

Entonces nos queda:

$$F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} = F = \frac{1}{2,75} \times \frac{1}{108} \times \frac{\sqrt{(0,75)}}{6 \times 54^2} = 0,3729$$

$$hf = 5,69 = 0.465 \times 21840^{1.75} \times D^{-4.75} \times (109,25 + 54 \times 0,2) \times 0,3729$$

$$D = 52,15 \text{ mm} \rightarrow 55.4 \text{ mm (comercial)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 21840^{1.75} \times 55,4^{-4.75} \times (109,25 + 54 \times 0,2) \times 0,3729 = 4,27$$

$$hf = 4,27 \text{ m.c.a.} < 5,69 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 109,25 = -5,46$$

$$\Delta H = -4,27$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H R} = 1,27 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según este}$$

diagrama.



$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 10,90 - 0,733 \times (-4,27) + \frac{-5,46}{2} = 11,29 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-5,46}{(2,75)(-4,27)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,35$$

$$h_i(i = 0,35) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,29 - 0,35 \times (-4,27) + \left[1 - (0,65)^{2,75} \right] (-4,27) = 9,82 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,29 - 1 \times (-5,46) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-4,27) = 12,48 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,66 m.c.a. < 4,27 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego A2 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 38,23 m. ($i \times L$) de la cabeza del portarramales, con un valor de $9,82 - 1,23 = 8,59 \text{ m.c.a.}$
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **12,48 m.c.a**
 - $\Delta H = 3,89 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- **Diámetros A2**
 - TPR: 63/55,4
 - TPG: 20/17

Unidades A3 y A4

Dimensionado de TPG.

Se calcularán de manera conjunta, eligiendo el ramal portagoteros más desfavorable, es decir, unidad de riego A3, cuya longitud es de 115,8 metros.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola, se tomará en caso más desfavorable, es decir, el de mayor longitud.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(115,8 metros \rightarrow 29 cepas \rightarrow 145 goteros \rightarrow 580 L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 115,8 m.
- Le = Longitud equivalente, 0,3 m.
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N : numero de goteros (145)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 145} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 145^2} = 0,3671$$

$$hf = 0.465 \times 580^{1.75} \times D^{-4.75} \times (115,8 + 145 \times 0,3) \times 0,3671$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 m s⁻¹ (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 m s⁻¹ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 m s⁻¹, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de 1,5 m s⁻¹.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D= diámetro
- Q = caudal (m³/s) = 580 L/h → 1.61 × 10⁻⁴ m³/s
- u = velocidad (m/s)

entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 1,61 \times 10^{-4}}{\pi \times 1,5}} = 0,0117 \text{ m.} \approx 13,2 \text{ mm (comercial)}$

$$hf = 0.465 \times 580^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (115,8 + 145 \times 0,3) \times 0,3671 = 8,87 \text{ m.c.a}$$

Es una pérdida muy alta en el portagoteros. Por ello, elegimos el diámetro comercial inmediatamente superior. D = 17 mm (interior)

$$hf = 0.465 \times 580^{1.75} \times 17^{-4.75} \times (115,8 + 145 \times 0,3) \times 0,3671 = 2,66 \text{ m.c.a.}$$

Ahora la pérdida de carga en el ramal portagoteros más desfavorable de las 2 unidades es bastante menor, por lo que hay más margen para la pérdida de carga del portarramales .

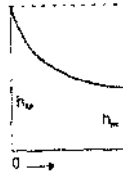
Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 =$

$\Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales → $\Delta H_R = 4,25 \text{ m.c.a.}$

Las perdidas de carga de las tuberías nunca deberán de superar la tolerancia de presiones. En el caso del portagoteros son de 2,66 m.c.a. y en el caso del portarramales serán de 4,25 m.c.a. El sistema se diseñará para optimizar al 100% estas restricciones.

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$$h_{\text{MÁX}} \text{ (en cabeza)} = h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-2,66) = 11,95 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{\text{MÍN}} \text{ (en cola)} = h_i (i=1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1-i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 11,95 + (-2,66) = 9,29 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 20/17 mm

Dimensionado de TPR.

Unidad A3

Longitud 105,05 metros y caudal 10380 l/h.

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,25$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius.

- Antes calculamos el caudal del portarramales más desfavorable en cada unidad
 - Longitud: 105,05 m.
 - Hay un total de 519 cepas, con 5 goteros/cepa. = 2595 goteros
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4\text{L/h} = 2595 \times 4 = 10380 \text{ L/h}$
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
 - 26 TPG

Entonces nos queda:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} = F = \frac{1}{2,75} + \frac{1}{52} + \frac{\sqrt{(0,75)}}{6 \times 26^2} = 0,3830$$

$$hf = 4,25 = 0,465 \times 10380^{1,75} \times D^{-4,75} \times (105,05 + 26 \times 0,2) \times 0,3830$$

$$D = 41,64 \text{ mm} \rightarrow 44 \text{ mm (comercial)} \rightarrow 50/44$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 10380^{1.75} \times 44^{-4.75} \times (105,05 + 26 \times 0,2) \times 0,3830$$

$$hf = 3,27 \text{ m.c.a.} < 4,25 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

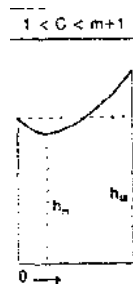
Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 105,05 = -5,25$$

$$\Delta H = -3,27$$

$C = \frac{\Delta Z}{\Delta HR} = 1,61 < m + 1 \rightarrow$ Presión mínima a i de cabeza y máxima en cola ($i=1$), según este diagrama.



$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,95 - 0,733 \times (-3,27) + \frac{-5,25}{2} = 11,72 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-5,25}{(2,75)(-3,27)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,26$$

$$h_i(i=0,26) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,72 - 0,26 \times (-5,25) + \left[1 - (0,74)^{2,75} \right] (-3,27) = 11,24 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i=1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,72 - 1 \times (-5,25) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-3,27) = 13,7 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,46 m.c.a. < 3,27 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego A3 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es

decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Presiones unidad A3:

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 27,3 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $11,24 - 2,66 = 8,58$ m.c.a.
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **13,7 m.c.a**
 - $\Delta H = 5,12 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- **Diámetros:**
 - **TPG:20/17**
 - **TPR: 50/44**

Dimensionado de TPR

Unidad A4

Longitud 105,05 metros y caudal 10040 l/h.

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,25$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius.

- Antes calculamos el caudal del portarramales más desfavorable en cada unidad
 - Longitud: 105,05 m.
 - Hay un total de 502 cepas, con 5 goteros/cepa. = 2510 goteros
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 2510 \times 4 = 10040$ L/h
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
 - 26 TPG

Entonces nos queda:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} = F = \frac{1}{2,75} + \frac{1}{52} + \frac{\sqrt{(0,75)}}{6 \times 26^2} = 0,3830$$

$$hf = 4,25 = 0,465 \times 10040^{1,75} \times D^{-4,75} \times (105,05 + 26 \times 0,2) \times 0,3830$$

$$D = 41,14 \text{ mm} \rightarrow 44 \text{ mm (comercial)} \rightarrow 50/44$$

Entonces h_f se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$h_f = 0.465 \times 10040^{1.75} \times 44^{-4.75} \times (105,05 + 26 \times 0,2) \times 0,3830$$

$$h_f = 3,09 \text{ m.c.a.} < 4,25 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

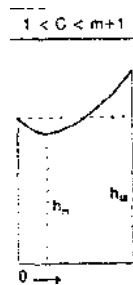
Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 105,05 = -5,25$$

$$\Delta H = -3,09$$

$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H R} = 1,70 < m + 1 \rightarrow$ Presión mínima a i de cabeza y máxima en cola ($i=1$), según este diagrama.



$$h_0 = h - 0,733 \Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,95 - 0,733 \times (-3,09) + \frac{-5,25}{2} = 11,59 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1) \Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-5,25}{(2,75)(-3,09)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,24$$

$$h_i(i=0,24) = h_0 - i \Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,59 - 0,24 \times (-5,25) + \left[1 - (0,76)^{2,75} \right] (-3,09) = 11,21 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i=1) = h_0 - i \Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,59 - 1 \times (-5,25) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-3,09) = 13,75 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,54 m.c.a. < 3,27 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego A4 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es

decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Presiones unidad A4

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 25,2 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $11,21 - 2,66 = 8,55 \text{ m.c.a.}$
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **13,75 m.c.a**
 - $\Delta H = 5,20 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- **Diámetros**:
 - **TPG:20/17**
 - **TPR: 50/44**

Sector B

Unidad B1

Dimensionado TPG

Longitud TPG mayor en la unidad $\rightarrow 65,07 \text{ m.}$

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y $h_{\text{MÍN}}$ estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(65,07 metros \rightarrow 17 cepas \rightarrow 85 goteros \rightarrow 340 L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 65,07 m.
- Le = Longitud equivalente, 0,3 m.

$$F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} \text{ (Factor de Christiansen)}$$

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N: número de goteros (85)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 85} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 85^2} = 0,3695$$

$$hf = 0,465 \times 340^{1,75} \times D^{-4,75} \times (65,07 + 85 \times 0,3) \times 0,3695$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 m s^{-1} (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 m s^{-1} los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 m s^{-1} , las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de 1,5 m s^{-1} .

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D = diámetro
- Q = caudal (m^3/s) = 340 L/h $\rightarrow 9,44 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- u = velocidad (m/s)

$$\text{Entonces: } D = \sqrt{\frac{4 \times 9,44 \times 10^{-5}}{\pi \times 1,5}} = 0,00895 \text{ m. } \approx 10 \text{ mm}$$

Con la TPG de 10 mm se produce una

pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2.

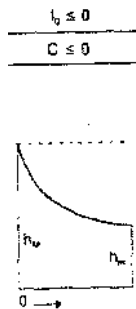
$$hf = 0.465 \times 340^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (65,07 + 85 \times 0,3) \times 0,3695 = 1,99 \text{ m.c.a. } (-1,99$$

m.c.a. como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 =$

$\Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 4,93 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:



$$h_{M\acute{A}X} \text{ (en cabeza)} = h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-1,99) = 11,46 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{M\acute{I}N} \text{ (en cola)} = h_i(i=1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)}\right] \Delta H_G = 11,46 + (-1,99) = 9,47 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,93 \text{ m.c.a.}$, calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:
 - 725 cepas, con 5 goteros/cepa. = 3625 goteros
 - Longitud : 88,86 m
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 3625 \times 4 = 14500 \text{ L/h}$
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.

$$\circ F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 46} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 46^2} = 0,3746$$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,93 = 0.465 \times 14500^{1.75} \times D^{-4.75} \times (88,86 + 46 \times 0,2) \times 0,3746$$

$$D = 44,33 \text{ mm} \rightarrow 45,8 \text{ mm (comercial)} \rightarrow 63/45,8 \text{ (PE 10 atm.)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 14500^{1.75} \times 45,8^{-4.75} \times (88,86 + 46 \times 0,2) \times 0,3746$$

$$hf = 4,22 \text{ m.c.a.} < 4,93 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 63/45,8

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

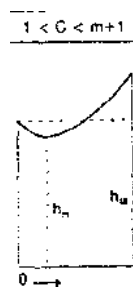
Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 88,86 = -4,44$$

$$\Delta H = -4,22$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta HR} = 1,05 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según este}$$

diagrama.



$$h_0 = h - 0,733 \Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,46 - 0,733 \times (-) + 4,22 \frac{-4,44}{2} = 12,33 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1) \Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-4,44}{(2,75)(-4,22)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,42$$

$$h_i (i = 0,42) = h_0 - i \Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 12,33 - 0,42 \times (-4,44) + \left[1 - (0,58)^{2,75} \right] (-4,22) = 10,91 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i (i = 1) = h_0 - i \Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 12,33 - 1 \times (-4,44) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-4,22) = 12,55 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (1,64 m.c.a. < 4,22 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego A3 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92$ m.c.a. es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Presiones unidad B1

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 37,32 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $10,91 - 1,99 = 8,92$ m.c.a.
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **12,55 m.c.a**
 - $\Delta H = 3,63 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- Diámetros B1:
 - **TPG: 16/13,2**
 - **TPR: 63/45,8 (PE 10 atm)**

Unidad B2

Dimensionado TPG

Longitud TPG mayor en la unidad $\rightarrow 63,01$ m.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(63,01 metros \rightarrow 16 cepas \rightarrow 80 goteros \rightarrow 320 L/h)
- D = diámetro (mm)

- $L = \text{longitud del ramal} = 63,01 \text{ m.}$
- $L_e = \text{Longitud equivalente, } 0,3 \text{ m.}$
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75 \text{ PVC y P.E.}$
- $N: \text{ numero de goteros (80)}$

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 80} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 80^2} = 0,3700$$

$$hf = 0.465 \times 320^{1.75} \times D^{-4.75} \times (63,01 + 80 \times 0,3) \times 0,37$$

$D = \text{diámetro de la tubería en m.}$ El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre $0,6$ y $2,25 \text{ m s}^{-1}$ (Pizarro, 1996), por debajo de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a $2,25 \text{ m s}^{-1}$, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- $D = \text{diámetro}$
- $Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)} = 320 \text{ L/h} \rightarrow 8,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- $u = \text{velocidad (m/s)}$

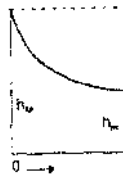
Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 8,88 \times 10^{-5}}{\pi \times 1,5}} = 0,0087 \text{ m.} \approx 10 \text{ mm}$ Con la TPG de 10 mm se produce una pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2.

$hf = 0.465 \times 320^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (63,01 + 80 \times 0,3) \times 0,37 = 1,72 \text{ m.c.a.}$ (-1,72 m.c.a. como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 5,19 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$h_{MÁX}$ (en cabeza) = $h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-1,72) = 11.26 \text{ m.c.a.}$

$h_{MÍN}$ (en cola) = $h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1 - i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 11,26 + (-1,72) = 9,54 \text{ m.c.a.}$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 5,19 \text{ m.c.a.}$, calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:
 - 809cepas, con 5 goteros/cepa. = 4045 goteros

- Longitud : 105,73 m
- $Q = n^{\circ} \text{goteros} \times 4L/h = 4045 \times 4 = 16080 \text{ L/h}$
- Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
- $F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 52} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 52^2} = 0,3733$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,93 = 0.465 \times 16080^{1.75} \times D^{-4.75} \times (105.73 + 52 \times 0,2) \times 0,3733$$

$$D = 47,7 \text{ mm} \rightarrow 51,4 \text{ mm (comercial)} \rightarrow 63/51,4 \text{ PE}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 16080^{1.75} \times 51,4^{-4.75} \times (105,73 + 52 \times 0,2) \times 0,3733$$

$$hf = 3,45 \text{ m.c.a.} < 5,19 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 63/51,4

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

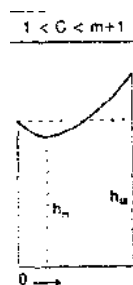
Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 105,73 = -5,28$$

$$\Delta H = -3,45$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H R} = 1,53 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \text{ de cabeza y máxima en cola (} i=1 \text{), según este$$

diagrama.



$$h_0 = h - 0,733 \Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,46 - 0,733 \times (-3,45) + \frac{-5,28}{2} = 11,35 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1) \Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-5,28}{(2,75)(-3,45)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,28$$

$$h_i(i = 0,28) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 11,35 - 0,28 \times (-5,28) + \left[1 - (0,72)^{2,75}\right] (-3,45) = 10,77 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 11,35 - 1 \times (-5,28) + \left[1 - (0)^{2,75}\right] (-3,45) = 13,18 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,41 m.c.a. < 3,45 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego B2 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Presiones unidad B2

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 29,60 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $10,77 - 1,72 = 9,05 \text{ m.c.a.}$
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **13,18 m.c.a**
 - $\Delta H = 4,13 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- Diámetros B2:
 - TPG: 16/13,2
 - TPR: 63/51,4

Unidad B3

Dimensionado TPG

Longitud TPG mayor en la unidad $\rightarrow 60,59 \text{ m.}$

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- $H_f =$ pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)

- $Q = \text{caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero)} = L/h$
(60,59 metros \rightarrow 16 cepas \rightarrow 80 goteros \rightarrow 320 L/h)
- $D = \text{diámetro (mm)}$
- $L = \text{longitud del ramal} = 60,59 \text{ m.}$
- $L_e = \text{Longitud equivalente, } 0,3 \text{ m.}$
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N : número de goteros (80)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 80} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 80^2} = 0,3700$$

$$hf = 0.465 \times 320^{1.75} \times D^{-4.75} \times (60,59 + 80 \times 0,3) \times 0,37$$

$D = \text{diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.}$

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 m s^{-1} (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 m s^{-1} los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 m s^{-1} , las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de 1,5 m s^{-1} .

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- $D = \text{diámetro}$
- $Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)} = 320 \text{ L/h} \rightarrow 8,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- $u = \text{velocidad (m/s)}$

Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 8,88 \times 10^{-5}}{\pi \times 1,5}} = 0,0087 \text{ m.} \approx 10 \text{ mm}$ Con la TPG de 10 mm se produce una

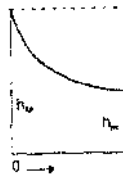
pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2.

$hf = 0.465 \times 320^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (60,59 + 80 \times 0,3) \times 0,37 = 1,67 \text{ .a.}$ (-1,67 m.c.a como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 5,24 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$h_{MÁX}$ (en cabeza) = $h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-1,67) = 11,22 \text{ m.c.a.}$

$h_{MÍN}$ (en cola) = $h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1 - i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 11,22 + (-1,67) = 9,55 \text{ m.c.a.}$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 5,24 \text{ m.c.a.}$, calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:
 - 896cepas, con 5 goteros/cepa. = 4480 goteros

- Longitud : 114,25 m
- $Q = n^{\circ} \text{goteros} \times 4L/h = 4480 \times 4 = 17920 \text{ L/h}$
- Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
- 61 TPG
- $F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 61} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 61^2} = 0,3719$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,93 = 0.465 \times 17920^{1.75} \times D^{-4.75} \times (114,25 + 61 \times 0,2) \times 0,3719$$

$$D = 50,5 \text{ mm} \rightarrow 55,4 \text{ mm (comercial)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 17920^{1.75} \times 55,4^{-4.75} \times (114,25 + 61 \times 0,2) \times 0,3719$$

$$hf = 3,17 \text{ m.c.a.} < 4,93 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 63/55,4

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 114,25 = -5,71$$

$$\Delta H_R = -3,17$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta HR} = 1,80 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \times L \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según}$$

este diagrama.

$$h_0 = h - 0,733 \Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,22 - 0,733 \times (-3,17) + \frac{-5,71}{2} = 10,68 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-5,71}{(1,75+1)(-3,17)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,21$$

$$h_i (i=1) = h_0 - i \Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 10,68 - 1 \times (-5,71) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-3,17) = 13,22 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i (i = 0,21) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 10,68 - 0,21 \times (-5,71) + \left[1 - (0,79)^{2,75}\right] (-3,17) = 10,36 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la tolerancia de presiones marcada al principio de los cálculos (2,86 m.c.a. < 3,17 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la subunidad de riego completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92$ m.c.a. es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a. y en este caso es de m.c.a por lo que el dimensionado es válido.

Distribución de presiones en la unidad B3:

- h mínima: Cola del portagoteros que está a 23,99 m., $i \times L$ de la cabeza del portarramales, con un valor de:
 - $10,36 - 1,67 = 8,69$ m.c.a
- h máxima: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales.
 - 13,22 m.c.a.

$$\Delta H = 4,53 \text{ m.c.a.} < 6,92 \text{ M.C.A.}$$

Por tanto, los diámetros calculados son los correctos.

En resumen, los diámetros de tubería de riego para el sector B son los siguientes:

TPG → 16/13,2

TPR → 63/55,4

Sector C

Unidad C1

Dimensionado TPG

Longitud TPG mayor en la unidad → 74,84 m.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y $h_{\text{MÍN}}$ estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(74,84 metros → 19 cepas → 95 goteros → 380 L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 74,84 m.
- L_e = Longitud equivalente, 0,3 m.
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N : numero de goteros (95)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 95} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 95^2} = 0,3689$$

$$h_f = 0,465 \times 380^{1,75} \times D^{-4,75} \times (74,84 + 95 \times 0,3) \times 0,3689$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 m s⁻¹ (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 m s⁻¹ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 m s⁻¹, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de 1,5 m s⁻¹.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D= diámetro
- Q = caudal (m³/s) = 380 L/h → 1,05 × 10⁻⁴ m³/s
- u = velocidad (m/s)

Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 9,4 \times 10^{-5}}{\pi \times 1,5}} = 0,00895 \text{ m.} \approx 10 \text{ mm}$ Con la TPG de 10 mm se produce

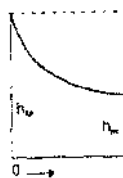
una pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2.

$hf = 0.465 \times 380^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (74,84 + 95 \times 0,3) \times 0,3689 = 2,75 \text{ m.c.a.}$ (-2,75 m.c.a. como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagotos calculamos la del portarramales → $\Delta H_R = 4,17 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagotos se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$h_{\text{MÁX}}$ (en cabeza) = $h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-2,75) = 12,01 \text{ m.c.a.}$

$h_{\text{MÍN}}$ (en cola) = $h_i(i=1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1-i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 12,01 + (-2,75) = 9,26 \text{ m.c.a.}$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,17$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:
 - 796 cepas, con 5 goteros/cepa. = 3977 goteros
 - Longitud : 93,02 m
 - $Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 3977 \times 4 = 15908$ L/h
 - Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.
 - 49 TPG
 - $F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 49} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 49^2} = 0,3739$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,17 = 0,465 \times 15908^{1,75} \times D^{-4,75} \times (93,02 + 49 \times 0,2) \times 0,3739$$

$$D = 46,64 \text{ mm} \rightarrow 45,8 \text{ mm (comercial)} \rightarrow 63/51,4 \text{ (PE 6 atm.)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0,465 \times 15908^{1,75} \times 51,4^{-4,75} \times (93,02 + 49 \times 0,2) \times 0,3739$$

$$hf = 3 \text{ m.c.a.} < 4,93 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 63/51

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 93,02 = -4,65$$

$$\Delta H = -3$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta HR} = 1,55 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según este}$$

diagrama.



$$h_0 = h - 0,733 \Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 1201 - 0,733 \times (-3) + \frac{-4,6}{2} = 1199 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-4,65}{(2,75)(-3)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,28$$

$$h_i(i = 0,28) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 11,88 - 0,28 \times (-4,65) + \left[1 - (0,72)^{2,75}\right](-3) = 11,40 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 11,99 - 1 \times (-4,65) + \left[1 - (0)^{2,75}\right](-3) = 13,64 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la nueva tolerancia de presiones marcada (2,24 m.c.a. < 3 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la unidad de riego C1 completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a.

Presiones unidad C1

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 26,04 m(i×L) de la cabeza del portarramales, con un valor de $11,40 - 2,75 = 8,65 \text{ m.c.a.}$
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales con un valor de **13,64 m.c.a**
 - $\Delta H = 4,99 < 6,92 \rightarrow$ dimensionado correcto
- **Diámetros C1**:
 - TPG: 16/13,2. Longitud: 3182 m
 - TPR: 63/51,4 . Longitud: 93,02

Unidad C2

Dimensionado TPG

Longitud máxima del TPG : 77,77m.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(77,77 metros → 20 cepas → 100 goteros → 400 L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 77,77 m.
- Le = Longitud equivalente, 0,3 m.
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N : numero de goteros (100)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 100} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 100^2} = 0,3687$$

$$hf = 0.465 \times 400^{1.75} \times D^{-4.75} \times (77,77 + 100 \times 0,3) \times 0,3687$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 $m s^{-1}$ (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 $m s^{-1}$ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 $m s^{-1}$, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D= diámetro
- Q = caudal (m^3/s) = $400 \text{ L/h} \rightarrow 1,11 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- u = velocidad (m/s)

Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 1,11 \times 10^{-4}}{\pi \times 1,5}} = 0,00971 \text{ m.} \approx 10 \text{ mm}$ Con la TPG de 10 mm se produce una

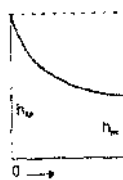
pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2

$hf = 0.465 \times 400^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (77,77 + 100 \times 0,3) \times 0,3687 = 3,12 \text{ m.c.a.}$ (-3,12 m.c.a. como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 3,79 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:

$$\frac{h_0 \leq 0}{C \leq 0}$$



$h_{\text{MÁX}}$ (en cabeza) = $h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-3,12) = 12,28 \text{ m.c.a.}$

$h_{\text{MÍN}}$ (en cola) = $h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + [1 - (1 - i)^{(m+1)}] \Delta H_G = 12,28 + (-3,12) = 9,17 \text{ m.c.a.}$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 3,79$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:

Hay un total de 870 cepas, con 5 goteros/cepa. = 4350 goteros

$$Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 4350 \times 4 = 17400 \text{ L/h}$$

Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.

46 TPG en el ramal portarramales

$$F = \frac{1}{1,75 + 1} + \frac{1}{2 \times 46} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \times 46^2} = 0,3745$$

Entonces nos queda:

$$hf = 3,79 = 0.465 \times 17400^{1.75} \times D^{-4.75} \times (93,02 + 46 \times 0,2) \times 0,3745$$

$$D = 50,55 \text{ mm} \rightarrow 55,4 \text{ mm (comercial)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0.465 \times 17400^{1.75} \times 55,4^{-4.75} \times (93,02 + 46 \times 0,2) \times 0,3745 = 2,45 \text{ m.c.a.}$$

$$hf = 2,45 \text{ m.c.a.} < 3,79 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 63/55,4

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 93,02 = -4,66$$

$$\Delta H_R = -2,45$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H R} = 1,89 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \times L \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según}$$

este diagrama.

$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 12,28 - 0,733 \times (-2,45) + \frac{-4,66}{2} = 11,75 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-4,66}{(1,75+1)(-2,45)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,19$$

$$h_i(i=1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,75 - 1 \times (-4,66) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-2,45) = 13,95 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i(i=0,19) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 11,75 - 0,19 \times (-4,66) + \left[1 - (0,81)^{2,75} \right] (-2,45) = 11,55 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la tolerancia de presiones marcada al principio de los cálculos (2,39 m.c.a. < 2,45 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la subunidad de riego completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a. y en este caso es de m.c.a por lo que el dimensionado es válido.

Distribución de presiones en el sistema:

- **h mínima:** Cola del portagoteros que está a 17,67 m(i × L) de la cabeza del portarramales, es decir, portarramales, con un valor de:
 - $11,55 - 3,12 = 8,43 \text{ m.c.a}$
- **h máxima:** Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales.
 - **13,95 m.c.a.**

$$\Delta H = 5,52 \text{ m.c.a.} < 6,92 \text{ M.C.A.}$$

- Diámetros
 - TPG → 16/13,2. Longitud: 3480 m.
 - TPR → 63/55,4. Longitud: 93,02 m.

Unidad C3

Dimensionado TPG

Longitud máxima del TPG : 72,45m.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y h_{MIN} estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(72,45 metros → 19cepas → 95 goteros → 380 L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 72,54 m.
- Le = Longitud equivalente, 0,3 m.
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N : numero de goteros (95)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 95} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 95^2} = 0,3689$$

$$hf = 0.465 \times 380^{1.75} \times D^{-4.75} \times (72,54 + 95 \times 0,3) \times 0,3689$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre 0,6 y 2,25 m s⁻¹ (Pizarro, 1996), por debajo de 0,6 m s⁻¹ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a 2,25 m s⁻¹, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de 1,5 m s⁻¹.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D= diámetro
- Q = caudal (m³/s) = 380L/h → 1,05 × 10⁻⁴ m³/s
- u = velocidad (m/s)

Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 1,05 \times 10^{-4}}{\pi \times 1,5}} = 0,00944 \text{ m.} \approx 10\text{mm}$ Con la TPG de 10 mm se produce una

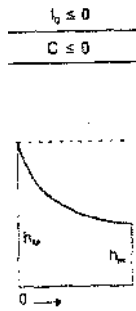
pérdida de carga muy elevada y nos limitaría mucho el dimensionado de la TPR elegimos el diámetro comercial 16/13,2

$$hf = 0.465 \times 380^{1.75} 13,2^{-4.75} \times (72,54 + 95 \times 0,3) \times 0,3689 = 2,69\text{m.c.a. (-2,69}$$

m.c.a. como pérdida de carga).

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales → $\Delta H_R = 4,23 \text{ m.c.a.}$

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:



$$h_{\text{MÁX}} \text{ (en cabeza)} = h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-2,69) = 11,97 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{\text{MÍN}} \text{ (en cola)} = h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_G = 11,97 + (-2,69) = 9,28 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 16/13,2 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,23$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius para la unidad.

- Antes calculamos el caudal del portarramales:

Hay un total de 617 cepas, con 5 goteros/cepa. = 3085 goteros

$$Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4\text{L/h} = 3085 \times 4 = 12340 \text{ L/h}$$

Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.

38 TPG en el ramal portarramales

$$F = \frac{1}{1,75 + 1} + \frac{1}{2 \times 38} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \times 38^2} = 0,3769$$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,23 = 0,465 \times 12340^{1,75} \times D^{-4,75} \times (78,73 + 38 \times 0,2) \times 0,3769$$

$$D = 42,05 \text{ mm} \rightarrow 50/44 \text{ (comercial)}$$

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0,465 \times 12340^{1,75} \times 44^{-4,75} \times (78,73 + 38 \times 0,2) \times 0,3769 = 3,41 \text{ m.c.a.}$$

$$hf = 3,41 \text{ m.c.a.} < 4,23 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 50/44

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 78,73 = -3,93$$

$$\Delta H_R = -3,41$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta HR} = 1,15 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \times L \text{ de cabeza y máxima en cola } (i=1), \text{ según}$$

este diagrama.

$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,97 - 0,733 \times (-3,41) + \frac{-3,93}{2} = 12,50 \text{ m.c.a.}$$

$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-3,93}{(1,75+1)(-3,41)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,39$$

$$h_i (i = 0,39) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 12,50 - 0,39 \times (-3,93) + \left[1 - (0,61)^{2,75} \right] (-3,41) = 11,50 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1-i)^{(m+1)} \right] \Delta H_R = 12,50 - 1 \times (-3,93) + \left[1 - (0)^{2,75} \right] (-3,41) = 13,02 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la tolerancia de presiones marcada al principio de los cálculos (1,52 m.c.a. < 3,41 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la subunidad de riego completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2,5(10 - 7,233) = 6,92 \text{ m.c.a.}$ es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a. y en este caso es de m.c.a por lo que el dimensionado es válido.

Distribución de presiones en el sistema:

- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 30,70 m($i \times L$) de la cabeza del portarramales, es decir, portarramales, con un valor de:
 - $11,50 - 2,69 = 8,81$ m.c.a
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cola del portarramales.
 - **13,02 m.c.a.**

$$\Delta H = 4,21 \text{ m.c.a.} < 6,92 \text{ M.C.A.}$$

- Diámetros
 - TPG \rightarrow 16/13,2. Longitud: 78,73 m.
 - TPR \rightarrow 50/44. Longitud: 2468 m.

Unidad C4

Dimensionado TPG

Longitud máxima del TPG \rightarrow 108,66 m.

Al estar a nivel, h_{MAX} estará en cabeza y $h_{\text{MÍN}}$ estará en cola.

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N \cdot Le) \times F$$

Donde:

- H_f = pérdidas de carga por rozamiento (m.c.a.)
- Q = caudal del ramal (número de goteros * caudal del gotero) = L/h
(108,66 metros \rightarrow 28 cepas \rightarrow 140 goteros \rightarrow 560L/h)
- D = diámetro (mm)
- L = longitud del ramal = 108,66 m.
- Le = Longitud equivalente, 0,3 m.
- $F = \frac{1}{m+1} \times \frac{1}{2N} \times \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2}$ (Factor de Christiansen)

Donde:

- $m = 1,75$ PVC y P.E.
- N: numero de goteros (140)

$$F = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 140} + \frac{\sqrt{(1,75-1)}}{6 \times 140^2} = 0,3672$$

$$hf = 0.465 \times 560^{1.75} \times D^{-4.75} \times (108,66 + 140 \times 0,3) \times 0,3672$$

D = diámetro de la tubería en m. El diámetro se elige en función del caudal que transporta.

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre $0,6$ y $2,25 \text{ m s}^{-1}$ (Pizarro, 1996), por debajo de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las baja velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a $2,25 \text{ m s}^{-1}$, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías.

Teniendo esto en cuenta, para dimensionar la tubería tomaremos una velocidad de diseño de $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Entonces:

$$Q = u \times \left[\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times 1,5}}$$

Siendo:

- D = diámetro
- Q = caudal (m^3/s) = $560 \text{ L/h} \rightarrow 1,55 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- u = velocidad (m/s)

Entonces: $D = \sqrt{\frac{4 \times 1,55 \times 10^{-4}}{\pi \times 1,5}} = 0,0115 \rightarrow$ elegimos el diámetro comercial 16/13,2

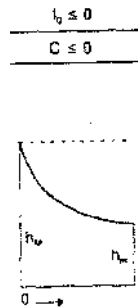
$$hf = 0.465 \times 540^{1.75} \times 13,2^{-4.75} \times (108,66 + 140 \times 0,3) \times 0,3672 = 7,40 \text{ m.c.a.}$$

Fuera de rango permitido. Aumentamos el diámetro $\rightarrow 20/17$

$$hf = 0.465 \times 540^{1.75} \times 17^{-4.75} \times (108,66 + 140 \times 0,3) \times 0,3672 = 2,22 \text{ m.c.a.}$$

Por tanto, como la diferencia de presión admisible es: $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92 = \Delta H_R + \Delta H_G$, conocida la tolerancia de presiones del ramal portagoteros calculamos la del portarramales $\rightarrow \Delta H_R = 4,69$ m.c.a.

Las presiones en el ramal portagoteros se distribuirán de la siguiente forma:



$$h_{\text{MÁX}} \text{ (en cabeza)} = h_0 = h - 0,733\Delta H_G = 10 - 0,733 \times (-2,22) = 11,63 \text{ m.c.a.}$$

$$h_{\text{MÍN}} \text{ (en cola)} = h_i (i = 1) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_G = 11,63 + (2,22) = 9,40 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre cabeza y cola es igual a la tolerancia de presiones, por tanto el diámetro es el correcto.

El diámetro comercial elegido es 20/17 mm

Dimensionado de portarramales

Conocida la tolerancia de presiones del ramal portarramales, $\Delta H_R = 4,69$ m.c.a., calcularemos el diámetro óptimo de esta tubería mediante la ecuación de Blasius .

- Antes calculamos el caudal del portarramales:

Hay un total de 228 cepas, con 5 goteros/cepa. = 1136 goteros

$$Q = n^\circ \text{ goteros} \times 4L/h = 1136 \times 4 = 4544 \text{ L/h}$$

Longitud equivalente inserción línea de goteros = 0,2 m.

Longitud TPR: 63,94 m.

20TPG en el ramal portarramales

$$F = \frac{1}{1,75 + 1} + \frac{1}{2 \times 20} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \times 20^2} = 0,3890$$

Entonces nos queda:

$$hf = 4,69 = 0,465 \times 4544^{1,75} \times D^{-4,75} \times (63,94 + 20 \times 0,2) \times 0,3890 = 27,26 \text{ mm} \rightarrow 28,4 \text{ mm}$$

(comercial, 32/28,4)

Entonces hf se modifica al aumentar el diámetro disminuye la pérdida de carga, quedando:

$$hf = 0,465 \times 4544^{1,75} \times 28,4^{-4,75} \times (63,94 + 20 \times 0,2) \times 0,3890 = 3,86 \text{ m.c.a.}$$

$$hf = 3,86 \text{ m.c.a.} < 4,69 \text{ m.c.a.}$$

La nueva tolerancia de presiones es menor que la anterior, pues hemos aumentado el diámetro, por tanto, el diámetro elegido es válido.

El diámetro comercial elegido es 32/28,4

Calculemos la distribución de presiones en el ramal portarramales. Tendremos en cuenta la pendiente del terreno en sentido del portarramales, 5%.

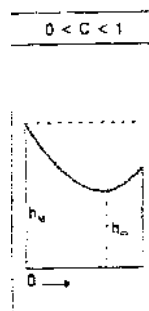
Entonces:

$$\Delta z = -I \times L = -0,05 \times 63,94 = -3,19$$

$$\Delta H_R = -3,86$$

$$C = \frac{\Delta Z}{\Delta H_R} = 0,83 \quad 0 < 0,83 < m + 1 \rightarrow \text{Presión mínima a } i \times L \text{ de cabeza y máxima en cabeza}$$

($i=0$), según este diagrama.



$$h_0 = h - 0,733\Delta H_R + \frac{\Delta Z}{2} = 11,63 - 0,733 \times (-3,86) + \frac{-3,19}{2} = 12,86 \text{ m.c.a.}$$

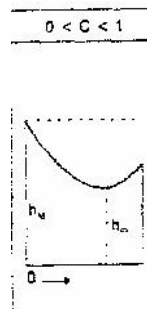
$$i = 1 - \left[\frac{\Delta z_r}{(m+1)\Delta H_r} \right]^{\left(\frac{1}{m}\right)} = 1 - \left[\frac{-3,19}{(1,75+1)(-3,86)} \right]^{\left(\frac{1}{1,75}\right)} = 0,496$$

$$h_i(i = 0,496) = h_0 - i\Delta z + \left[1 - (1 - i)^{(m+1)}\right] \Delta H_R = 12,86 - 0,496 \times (-3,19) + \left[1 - (0,504)^{2,75}\right] (-3,86) = 11,16 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia de presiones en el portarramales es menor que la tolerancia de presiones marcada al principio de los cálculos (1,70 m.c.a. < 3,86 m.c.a.) por tanto, los diámetros son los correctos.

En lo que se refiere a las presiones de la subunidad de riego completa, al principio de los cálculos se estableció una tolerancia de presiones de $\Delta H = 2.5(10 - 7,233) = 6,92$ m.c.a. es decir, que la diferencia de presión entre el punto de máxima presión y mínima presión del sistema no podría ser mayor de 6,92 m.c.a. y en este caso es de m.c.a por lo que el dimensionado es válido.

Distribución de presiones en el sistema:



- **h mínima**: Cola del portagoteros que está a 32,22 m ($i \times L$) de la cabeza del portarramales, es decir, portarramales, con un valor de:
 - $11,16 - 2,22 = \mathbf{8,94 \text{ m.c.a}}$
- **h máxima**: Cabeza del portagoteros de la cabeza del portarramales.
 - $\mathbf{12,86 \text{ m.c.a.}}$

$$\Delta H = 3,92 \text{ m.c.a.} < 6,92 \text{ m.c.a.}$$

Por tanto, los diámetros calculados son los correctos.

En resumen, los diámetros de tubería de riego para la unidad de riego 4 del sector C son los siguientes:

TPG → 20/17. Longitud: 908,8 m.

TPR → 32/28,4. Longitud: 63,94 m.

Resumen de los diámetros diseñados y presiones máxima y mínima por unidades de riego

	Unidades de Riego	Diámetro comercial (mm)		Presiones (m.c.a.)			
		TPG	TPR	Máx		Mín	
				TPG	TPR	TPG	TPR
Sector A	A1	20 (1092 m)	40 (79,84 m)	12,26	12,26	8,72	9,95
	A2	20 (4368 m)	63 (109,25 m)	12,48	12,48	8,59	9,82
	A3	20 (2076 m)	50 (115,8 m)	13,7	13,7	8,58	11,24
	A4	20 (2008)	50 (105,05 m)	13,75	13,75	8,55	11,21
Sector B	B1	16 (2900)	63 (88,86 m)	12,55	12,55	8,92	10,91
	B2	16 (3216)	63 (88,86 m)	13,18	13,18	9,05	10,77
	B3	16 (3584 m)	63 (114,25 m)	13,22	13,22	8,69	10,36
Sector C	C1	16 (3182 m)	63 (93,02 m)	13,64	13,64	8,65	11,40
	C2	16 (3480 m)	63 (93,02 m)	13,95	13,95	8,43	11,55
	C3	16 (2468 m)	50 (78,73 m)	13,02	13,02	8,81	11,50
	C4	20 (909 m)	32 (63,94 m)	12,86	12,86	8,94	11,16

4.2 Diseño de las tuberías secundarias

El material escogido para las tuberías secundarias 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:

$20 < D < 75 \text{ mm} \rightarrow 45 \text{ cm}$

$75 < D < 110 \text{ mm} \rightarrow 60 \text{ cm}$

$D > 110 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ cm}$

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.

Las 11 unidades de riego se han agrupado en tres sectores de la siguiente manera:

- Sector A: 4 unidades.
- Sector B: 3 unidades.
- Sector C: 4 unidades.

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. Cada sector constará de una red propia de tuberías secundarias, para facilitar la automatización del riego.

Para el diseño de las tuberías se ha dividido cada red en tramos. El criterio impuesto es que la velocidad del agua en la tubería no supere los 1,5 m/s. Conocido el caudal que circula por cada 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 cada 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 singularmente, si no que se va a suponer que constituyen un porcentaje de la presión total necesaria para cada red.

1) Se dimensionan las tuberías 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:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times u}} \qquad hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times L$$

Siendo:

- u : velocidad máxima del agua (1,5 m/s)
- Q : Caudal (m^3/s)
- D : diámetro en m.

2) Conocidas las pérdidas de carga se comprueba que caso es más desfavorable con respecto al inicio de la red (inicio tubería secundaria del sector). Aplicamos la Ecuación de conservación de la energía desde este punto (punto 0) hasta el inicio de la tubería portarramales de cada unidad de riego. La presión de la unidad de riego que elegimos a la hora de hacer los cálculos es la calculada en los apartados anteriores para el diseño del ramal portarramales, es decir, la h_0 del portarramales. Así conocemos la presión que demanda cada unidad de riego para abastecerse de la manera diseñada. De las presiones resultantes elegiremos la más elevada.

La disposición exacta de las tuberías secundarias se puede observar con mayor detalle en el plano correspondiente.

A continuación se muestran los cálculos realizados para cada sector:

Sector A

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal m ³ /s	U (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)	Presión inicio Unidad (TPR) m.c.a.
A1-A2	5460	0,00152	1,5	92,16	36,00	50	45,02	2,08	A1:10,64
A2-1	27300	0,00758	1,5	90,14	80,21	90	81,4	2,04	A2:11,29
A4-1	10040	0,00279	1,5	118,30	48,67	63	57	2,53	A4:11,59
1-2	37340	0,01040	1,5	107,08	94,00	100	99,4	1,63	-
A3-2	10380	0,0029	1,5	2,13	49,61	63	57	0,05	A3: 11,72
2-0	47720	0,01326	1,5	5,32	106,1	125	113	0,07	-

Entonces, aplicando la ECE, tenemos:

- Unidad A1:

$$H_0 = H_{A1} + hf_{0-A1} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{A1} + z_{A1} + hf_{0-A1}$$

$$hf_{0-A1} = hf_{0-2} + hf_{2-1} + hf_{1-A2} + hf_{A2-A1} = 0,07 + 1,63 + 2,04 + 2,08 = 5,82$$

$$h_0 + z_0 = h_{A1} + z_{A1} + hf_{0-A1}$$

$$h_0 = 10,64 + 543 - 550 + 5,82 = 9,46m.c.a$$

- Unidad A2:

$$H_0 = H_{A2} + hf_{0-A2} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{A2} + z_{A2} + hf_{0-A2}$$

$$hf_{0-A2} = hf_{0-2} + hf_{2-1} + hf_{1-A2} = 0,07 + 1,63 + 2,04 = 3,74$$

$$h_0 + z_0 = h_{A2} + z_{A2} + hf_{0-A2}$$

$$h_0 = 11,29 + 544 - 550 + 3,74 = 9,03m.c.a$$

- Unidad A3:

$$H_0 = H_{A3} + hf_{0-A3} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{A3} + z_{A3} + hf_{0-A3}$$

$$hf_{0-A3} = hf_{0-2} + hf_{2-A3} = 0,07 + 0,05 = 0,12$$

$$h_0 + z_0 = h_{A3} + z_{A3} + hf_{0-A3}$$

$$h_0 = 11,72 + 549,5 - 550 + 0,12 = 11,34 m.c.a$$

▪ Unidad A4:

$$H_0 = H_{A4} + hf_{0-A4} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{A4} + z_{A4} + hf_{0-A4}$$

$$hf_{0-A4} = hf_{0-2} + hf_{2-1} + hf_{1-A4} = 0,07 + 1,63 + 2,53 = 4,23 m.c.a.$$

$$h_0 + z_0 = h_{A4} + z_{A4} + hf_{0-A4}$$

$$h_0 = 11,59 + 538 - 550 + 4,23 = 3,82 m.c.a$$

A la vista de los resultados, la presión más desfavorable para el dimensionado de la tubería es la correspondiente a la unidad A3, con un valor de 11,34 m.c.a. Si suponemos unas pérdidas de carga del 5% (llaves, codos, válvulas, etc), la presión quedaría en **11,91 m.c.a.**

Sector B

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal m ³ /s	U (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)	Presión inicio Unidad (TPR) m.c.a.
1-B1	48500	0,0135	1,5	3,74	107	125	113	0,050	B1: 12,33
B1-B2	34000	0,0057	1,5	93,09	69,56	90	81,4	3,10	B2: 11,35
B2-B3	14500	0,0050	1,5	110,02	65,14	75	67,8	1,68	B3: 10,68

Entonces, aplicando la ECE tenemos:

Unidad B1:

$$H_0 = H_{B1} + hf_{0-B1} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{B1} + z_{B1} + hf_{0-B1}$$

$$hf_{0-B1} = 0,05 m.c.a.$$

$$h_0 + z_0 = h_{B1} + z_{B1} + hf_{0-B1} \rightarrow h_0 = 12,33 + 550 - 550 + 0,050 = 12,38 m.c.a$$

Unidad B2:

$$H_0 = H_{B2} + hf_{0-B2} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{B2} + z_{B2} + hf_{0-B2}$$

$$hf_{0-B2} = hf_{0-B1} + hf_{B1-B2} = 0,05 + 3,10 = 3,15 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_{B2} + z_{B2} + hf_{0-B2} \rightarrow h_0 = 11,35 + 545 - 550 + 3,15 = 9,50 \text{ m.c.a.}$$

Unidad B3:

$$H_0 = H_{B3} + hf_{0-B3} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{B3} + z_{B3} + hf_{0-B3}$$

$$hf_{0-B3} = hf_{0-B1} + hf_{B1-B2} + hf_{B2-B3} = 0,05 + 3,10 + 1,68 = 4,83 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_{B3} + z_{B3} + hf_{0-B3} \rightarrow h_0 = 10,68 + 539,5 - 550 + 4,83 = 5,01 \text{ m.c.a.}$$

A la vista de los resultados, la presión más desfavorable para el dimensionado de la tubería es la correspondiente a la unidad B1, con un valor de 12,38 m.c.a. Si suponemos unas pérdidas de carga del 5% (llaves, codos, válvulas, etc), la presión quedaría en **13,00 m.c.a.**

Sector C

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal m ³ /s	U (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)	Presión inicio Unidad (TPR) m.c.a.
0-C1	50192	0,0139	1,5	2,77	108,62	125	113	0,04	C1:11,99
C1-C2	34284	0,0095	1,5	97,25	89,80	110	99,4	1,17	C2:11,75
C2-C3	16284	0,0045	1,5	95,13	61,80	75	67,8	3,23	C3:12,50
C3-C4	4544	0,0012	1,5	151,84	31,92	40	36	7,72	C4:12,86

Entonces, aplicando la ECE tenemos:

Unidad C1:

$$H_0 = H_{C1} + hf_{0-C1} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{C1} + z_{C1} + hf_{0-C1}$$

$$hf_{0-C1} = 0,05 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_{C1} + z_{C1} + hf_{0-C1} \rightarrow h_0 = 11,99 + 552 - 552 + 0,040 = 12,03 \text{ m.c.a.}$$

Unidad C2:

$$H_0 = H_{C2} + hf_{0-C2} \rightarrow h_0 + z_0 = h_0 + z_{C2} + hf_{0-C2}$$

$$hf_{0-C2} = hf_{0-C1} + hf_{C1-BC} = 0,04 + 1,17 = 1,21 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_0 + z_{C2} + hf_{0-C2} \rightarrow h_0 = 11,75 + 546,7 - 552 + 1,21 = 7,66 \text{ m.c.a.}$$

Unidad C3:

$$H_0 = H_{C3} + hf_{0-C3} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{C3} + z_{C3} + hf_{0-C3}$$

$$hf_{0-C3} = hf_{0-C1} + hf_{C1-C2} + hf_{C2-C3} = 0,04 + 1,21 + 3,23 = 4,48 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_{B3} + z_{B3} + hf_{0-B3} \rightarrow h_0 = 12,50 + 541,8 - 552 + 4,48 = 6,78 \text{ m.c.a.}$$

Unidad C4:

$$H_0 = H_{C4} + hf_{0-C4} \rightarrow h_0 + z_0 = h_{C4} + z_{C4} + hf_{0-C4}$$

$$hf_{0-C4} = hf_{0-C1} + hf_{C1-C2} + hf_{C2-C3} + hf_{C3-C4} = 0,04 + 1,21 + 3,23 + 7,72 = 12,2 \text{ m.c.a.}$$

$$h_0 + z_0 = h_{C4} + z_{C4} + hf_{0-C4} \rightarrow h_0 = 12,86 + 538 - 552 + 12,2 = 11,06 \text{ m.c.a.}$$

A la vista de los resultados, la presión más desfavorable para el dimensionado de la tubería es la correspondiente a la unidad C1, con un valor de 12,03 m.c.a. Si suponemos unas pérdidas de carga del 5% (llaves, codos, válvulas, etc), la presión quedaría en **12,63 m.c.a.**

Calculada la energía necesaria en cabeza de cada sector, estos quedarán de la siguiente manera:

- Sector A:
 - Unidades: 4
 - Caudal: 47720 L/h
 - Presión inicio en el punto 0 del sector A: 11,91 m.c.a.
- Sector B:
 - Unidades: 3
 - Caudal: 48500 L/h
 - Presión inicio en el punto 0 del sector B: 13,00 m.c.a.
- Sector C:
 - Unidades: 4
 - Caudal: 50192 L/h
 - Presión inicio en el punto 0 del sector C: 12,63 m.c.a.

4.3. Diseño de las tuberías principales

Se van a diseñar tres tuberías principales, una para cada sector, de manera que se pueda facilitar la automatización del riego. Estas tuberías irán desde el inicio de cada sector hasta la cabeza del sistema de riego, situada en la sala de riego de la nave agrícola. 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 las secundarias, 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.

$$hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times L$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times u}}$$

○ Sector A

Al tratarse del mismo material que en el caso de las tuberías secundarias, la forma de cálculo es la misma. Se adjunta tabla resumen de los datos y cálculos:

Tabla . Tubería primaria del sector A.

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m ³ /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)
A	47720	0,013	1,5	64,95	105	125	113	0,823

Velocidad del agua: $u = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} = 1,30 < 1,5 \text{ m/s}$

PVC 10 atm 125/113 → u = 1,30 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_{0A} + hf_{0A1-CABEZA} \rightarrow h_{\text{CABEZA}} = h_{0A} + z_{0A} - z_{\text{CABEZA}} + hf_{0A-CABEZA}$$

$$h_{\text{CABEZA}} = 11,91 + 550 - 550,5 + 0,823 = 12,23$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal del sector A será, 12,23 m.c.a.

○ Sector B

Tabla . Tubería primaria del sector B.

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m ³ /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)
B	48500	0,014	1,5	8,04	109	125	113	0,11

$$\text{Velocidad del agua: } u = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} = 1,40 < 1,5 \text{ m/s}$$

PVC 10 atm 125/113 → u = 1,40 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_{0B} + hf_{0B-CABEZA} \rightarrow h_{\text{CABEZA}} = h_{0B} + z_{0B} - z_{\text{CABEZA}} + hf_{0B-CABEZA}$$

$$h_{\text{CABEZA}} = 13 + 550 - 550,5 + 0,11 = 12,61 \text{ m.c.a.}$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal del sector A será, 12,61 m.c.a.

○ Sector C

Tabla . Tubería primaria del sector C.

Tramo	Caudal (L/h)	Caudal (m ³ /s)	u (m/s)	Longitud (m)	D (mm)	De (mm)	Di (mm)	Hf (m.c.a.)
C	50192	0,014	1,5	157,3	105	125	113	2,18

$$\text{Velocidad del agua: } u = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} = 1,40 < 1,5 \text{ m/s}$$

PVC 10 atm 125/113 → u = 1,40 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{\text{cabeza}} = H_{0C} + hf_{0C-CABEZA} \rightarrow h_{\text{CABEZA}} = h_{0C} + z_{0C} - z_{\text{CABEZA}} + hf_{0C-CABEZA}$$

$$h_{\text{CABEZA}} = 12,63 + 552 - 550,5 + 2,18 = 16,31$$

La presión necesaria en el inicio de la tubería principal del sector A será, 16,31 m.c.a.

Entonces nos quedarían los siguientes datos para dimensionar el cabezal de riego:

▪ Sector A:

- Unidades: 4
- Caudal: 47720L/h
- Presión inicio en el punto 0 del sector A: 11,91 m.c.a.
- Presión inicio tubería primaria: 12,23 m.c.a.

- Sector B:
 - Unidades: 3
 - Caudal: 48500 L/h
 - Presión inicio en el punto 0 del sector B: 13,00 m.c.a.
 - Presión inicio tubería primaria: 12,61 m.c.a.

- Sector C:
 - Unidades: 4
 - Caudal: 50192 L/h
 - Presión inicio en el punto 0 del sector C: 12,63 m.c.a.
 - Presión inicio tubería primaria: 16,31 m.c.a.

4.4. Diseño del cabezal de riego

El cabezal de riego es el elemento central de la instalación de riego, en él se controla la fertilización y el aporte hídrico, además de los tratamientos necesarios.

Para diseñar la cabeza del sistema de riego se tendrá en cuenta el caudal máximo (50192 L/h) y la energía máxima (16,31 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 de 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",. La presión máxima que soporta la válvula es de 160 m.c.a. y la mínima de 7 m.c.a. El coeficiente de pérdida de carga de la singularidad es: $k = 10$, para una velocidad máxima de 1,5 m/s. , generará una pérdida de carga de $h_f = k \times \frac{u^2}{2g} = 10 \times \frac{1,5^2}{2 \times 9,81} =$

1,15 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 cinco válvulas, 4 para el sistema controlar la entrada del agua y una para el sistema de lucha fitosanitaria. La pérdida de carga que se producirá se estima en **1 m.c.a.**

- Programador de riego, abonado y bomba de riego

A continuación se colocará un programador de riego y abonado con control automático de pH y CE. Estará provisto de:

- Un venturi.
- Grupo electrobomba para la inyección en la red del fertilizante.
- Conjunto de toma de abonado, válvulas y demás accesorios.

También se colocará un sistema de impulsión mediante una bomba de riego

El sistema estará conectado a los depósitos de poliéster de fertilizantes, de donde cogerá las cantidades necesarias de fertilizantes para efectuar el fertirriego.

- Depósitos

Se dispondrán 4 depósitos de poliéster, dos de 1000 litros y 2 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 μm .

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

A la entrada y a la salida de los filtros se pondrá un manómetro de glicerina para controlar n que dicha pérdida de carga no sea mayor

- Contador

Después de los filtros y antes de la derivación hacia cada sector de riego, se pondrá un contador Woltman de eje vertical, 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 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 9,05 m.c.a. Dejando un margen de variación del 5% se obtendrá una **pérdida total de energía de 9,50 m.c.a.**

Teniendo en cuenta que la presión máxima necesaria a la salida de la cabeza del sistema es de 16,31 m.c.a, se requerirá una **energía mínima al inicio de la misma de 25,81 m.c.a,** la cual mayoramos a 26 m.c.a.

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

El embalse se encuentra a una altura de 557 m sobre el nivel del mar, mientras que el cabezal está a 550,5 m. Esta diferencia de cota nos proporciona una energía fija, aproximadamente, de entre 6,5 m.c.a. (embalse lleno) y 3,5 (embalse con sólo 0,5 metros de altura de agua). 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 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 el correspondiente al sector C (50192 L/h). La longitud total de la tubería es de 42,81 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.

Tramo	Caudal	Caudal	u	Longitud	D	De	Di	Hf
-------	--------	--------	---	----------	---	----	----	----

	(L/h)	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(m.c.a.)
Embalse-Cabezal	50192	0,014	1,5	42,81	109	125	113	0,62

$$\text{Velocidad del agua: } u = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} = 1,40 < 1,5 \text{ m/s}$$

PVC 10 atm 125/113 → u = 1,40 m/s > 0,5 m/s, la velocidad es buena.

$$H_{EMBALSE} = H_{CABEZAL} + hf_{EMBALSE-CABEZAL}$$

$$h_{CABEZAL} = h_{EMBALSE} + z_{EMBALSE} - z_{CABEZAL} - hf_{EMBALSE-CABEZAL}$$

$$h_{CABEZAL} = 0 + (553,5 - 550,5) - 0,62 = 2,38 \text{ m.c.a.}$$

Como la pérdida de carga en la cabeza del sistema se ha estimado en 9,50 m.c.a. y la energía que se gana con la cota es 2,38 m.c.a. la energía necesaria para salvar la pérdida de la sala del cabezal será de 7,12 m.c.a., a la que habrá que sumar la necesaria para cada sector, y elegir el valor más alto para dimensionar la bomba de riego.

- H = 7,12 m.c.a.
- H_{MÁX} se encuentra en el sector C, con una demanda de 16,31 m.c.a.

$$H_{MAX \text{ total}} = 7,12 + 16,31 = 23,43 \text{ m.c.a.}$$

La potencia de la bomba se calcula mediante la expresión:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times Hm}{\eta}$$

Donde:

- γ = Peso específico del agua (9800 kg/m³)
- Q = Caudal (m³/s) = 0,0139 m³/s
- Hm = altura manométrica necesaria (m.c.a.) = 23,43 m.c.a.
- η = Rendimiento de la bomba = 85%

$$P = 3754,86 \text{ w} = 5,11 \text{ C.V.}$$

La bomba elegida es de 5,5 C.V. trifásica. Al inicio de cada sector (punto 0 de cada sector) se dispondrá de un regulador de presión tarado con la presión máxima admitida y necesaria, ya que si no se podrían producir la rotura de las tuberías debido a una sobrepresión en el sistema.

5. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

5.1. Bibliografía

- FUENTES J. L. (1998). **Técnicas de riego**. Ed. Mundi-Prensa.
- LOSADA, A.1996. **El Riego. Fundamentos hidráulicos**. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- PIZARRO, F.1996. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Apuntes de **Hidráulica y Riegos**. J. Martinez. 2007