



SISTEMA DE RIEGO

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema utilizado para el perfecto desarrollo de las plantas en el interior del invernadero es el de riego de alta frecuencia. En este caso se trata de un riego con micro-aspersores, que en la superficie de las mesas de cultivo regarán las plantas hasta que alcancen el desarrollo suficiente como para poder ser trasplantadas.

A continuación mostraremos una imagen que detalla el riego en el invernadero.

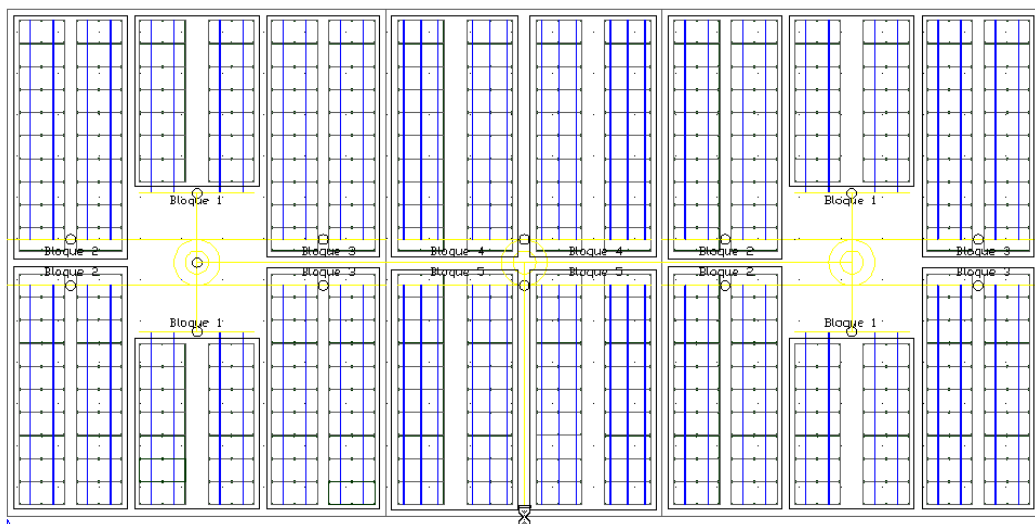


Figura 1. Detalle del sistema de riego del invernadero.

Para un perfecto funcionamiento, el riego se distribuye de tal manera que en momentos de menos demanda de planta podamos regar únicamente aquellas zonas del invernadero ocupadas por la planta.

2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE RIEGO

Para poder realizar el cálculo del riego, lo dividiremos en tres zonas bien diferenciadas, como son las naves adosadas y la nave central:



Riego de naves adosadas (Bloques 1 y 2)

Riego de la nave central (Bloque 0)

Cada uno de estas partes consta de una serie de subunidades de riego, (zonas que quedan controladas por reguladores de presión). Para la realización de los cálculos y el dimensionamiento de tuberías se estudian y se dimensionan aquellas que estén sometidas a mayores requerimientos de caudal y presión. Las subunidades de riego son las siguientes:

Subunidad de riego 1 = Bloques 1 de las naves adosadas

Subunidad de riego 2 = Bloques 2 de las naves adosadas

Subunidad de riego 3 = Bloques 3 de las naves adosadas

Subunidad de riego 4 = mitad norte de la nave central de invernadero

Subunidad de riego 5 = mitad norte de la nave central de invernadero

En las naves adosadas del invernadero aparecen seis subunidades de riego, de las cuales las subunidades simétricas a las 1, 2, 3, no tendrán necesidad de cálculo, debido a que tienen los mismos requerimientos de caudal y presión.

A continuación vamos independientemente a realizar los cálculos correspondientes para el dimensionamiento del riego en las naves adosadas y en la nave central.

2.1 SUBUNIDAD DE RIEGO 2 (NAVES ADOSADAS)

Se estudia esta subunidad debido a que en el bloque de las naves adosadas es la que está sometida a mayores necesidades de agua, por contener mayor número de microaspersores y por estar situada a mayor distancia, por lo que el dimensionamiento de las tuberías será mayor. Se tomará el dimensionamiento de esta subunidad como referencia para el resto.

Esta subunidad se encuentra en ambos bloques de naves adosadas por lo que a su vez, es referencia de ambos.

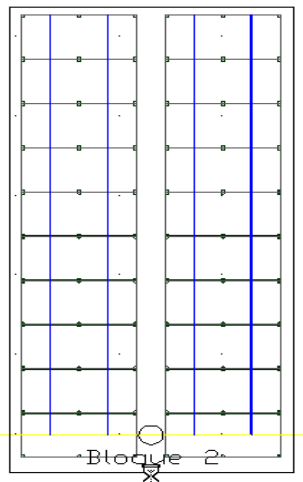


Figura 2. Subunidad de riego 2.

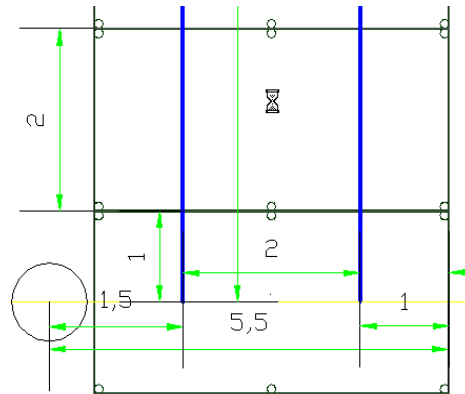


Figura 3. Acotado

ELECCIÓN DEL EMISOR.

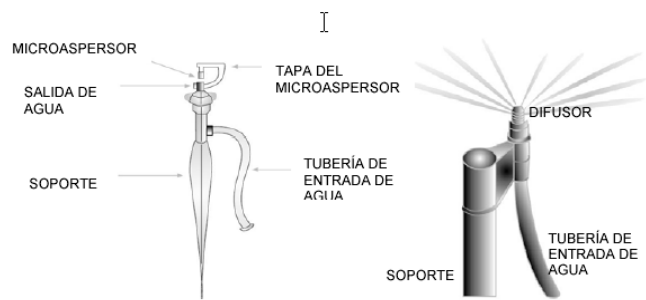


Figura 24. Diagrama de un Microaspersor – Accionar de un Microjet

Figura 4. Detalle de un microaspersor.

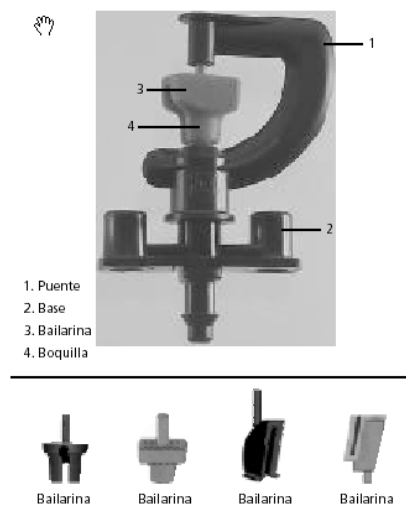


Figura 5. Tipos de microaspersores.



Boquilla	Q _h		Diámetro de cobertura en m		
	Presión atm	Caudal l/h	Difusor amarillo	Difusor naranja	Difusor sectorial 90°
Violeta 0,82 mm	1,0	25	2,4	0,8	1,5
	1,5	30	2,8	0,8	1,5
	2,0	35	2,8	0,9	1,7
	2,5	39	2,8	0,9	2,0
	3,0	43	2,8	0,9	2,0
Marrón 0,94 mm	1,0	32	2,8	0,8	1,5
	1,5	39	3,0	0,8	1,7
	2,0	45	3,4	0,9	1,7
	2,5	50	3,4	0,9	2,0
	3,0	55	3,6	0,9	2,0

Tabla 1. Características hidráulicas de un microaspersor.

Presión nominal: 3 atm

Ø del orificio de salida: 0,82 mm

Caudal nominal: 43 l/h

Coefficiente de variación del proceso de fabricación: 0,004

Numero de emisores: 10 emisores por ramal porta-emisores

La elección de los emisores se ha hecho pensando en una uniformidad perfecta en el riego en la superficie de las mesas, por lo que se pondrán 2 micro-aspersores por mesa, con las características anteriores.

DISPOSICIÓN

Los ramales porta-emisores se situarán a nivel del suelo, mientras que los micro-aspersores (2 en cada mesa de cultivo con un marco de colocación de 2 x 2 m) aparecen a la altura de las mesas. La conexión ramal-microaspersor se consigue mediante la unión de pequeños ramales entre la tubería lateral y el microaspersor.

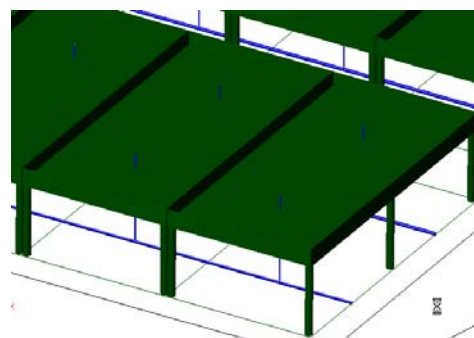


Figura 6. Detalle de las conexiones.



TOLERANCIA DE PRESIONES

$$q = K \cdot H^x ; 43 = K \cdot 30^{0,5} = 0,73; \quad \mathbf{q = 7,86 \cdot H^{0,5}}$$

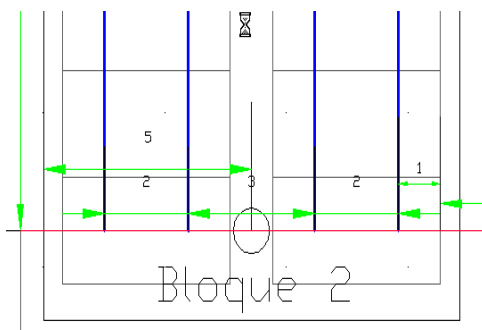
La **máxima pérdida de carga en la subunidad es de:** $0,1 \times 30 \text{ m.c.a} + 0 = \mathbf{3 \text{ m.c.a}}$, como vemos depende de la presión nominal del emisor elegido y desnivel del terreno entre el punto más alto y el más bajo en la subunidad. En este caso el terreno está nivelado.

Una vez calculada la pérdida de carga en la subunidad, se repartirá entre las distintas tuberías de conducción, tradicionalmente se ha utilizado el criterio de Karmelli Keller, que repartía la pérdida de carga total de la subunidad de la siguiente manera:

- 45% en la tubería terciaria
- 55% en la tubería lateral

Con este criterio no se puede optimizar las tuberías de conducción y vemos como soluciones más económicas aumentan la pérdida de carga en la subunidad, Montalvo y Arviza proponen un sistema en el cual el reparto se hará en función del coeficiente de forma y la separación entre laterales.

COEFICIENTE DE FORMA



Longitud del lateral = 19 m

Longitud de la terciaria = 10 m

Separación entre laterales = 2 metros entre ramales del mismo grupo de mesas, mientras que ramales de distinto grupo de mesas se separan 3 metros por el pasillo.

Figura 7. Acotado de la subunidad 2.

$$\mathbf{CF = 19/5 = 3,8}$$



REPARTO DE PRESIONES

Al ser laterales alimentados por su punto extremo Arviza nos dice que el reparto de presiones debe de ser:

$$R = 0,776 \cdot CF^{0,1577} / S^{0,060} = 0,776 \cdot 3,8^{0,1577} / 2^{0,06} = 0,776 \cdot 1,23 / 1,04 = 0,91.$$

Esto significa que podremos perder un 91% de la pérdida de carga en los laterales y un 9% en la terciaria.

$$R = \frac{\Delta hl}{\Delta hs} ; \Delta hl = 2,73 \text{ m.c.a}$$

Δhl = Variación de presiones en los laterales

Δhs = Variación de presiones en la subunidad

$$\Delta hl = \mathbf{2,73 \text{ m.c.a}}$$

$$\Delta ht = 3 - 2,73 = \mathbf{0,27 \text{ m.c.a}}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE CONDUCCIÓN

I. Tubería terciaria (tramo de tomas)

Longitud: 10 m

Nº de salidas: 4

Caudal por salida: 10 micro-aspersores x 43 l/h micro-aspersor = 430 l/h

Caudal total: 430 l/h de cada ramal x 4 ramales = 1720 l/h

Desnivel: 0 m

Opción adoptada: **Tubería de PVC_{6 atm} con Ø = 32 mm**

Longitud equivalente para máxima pérdida de carga localizada:

Se debe a la conexión de los ramales en la terciaria, en el caso de separaciones de estos mayores de 5 metros pondríamos una pérdida de carga igual al 20% de las pérdidas de carga continuas, en nuestro caso utilizaremos la fórmula de T. Montalvo:



$$L_e = 0,10 Q_l^{0,30} N^{0,26} = 0,10 1720^{0,30} 4^{0,26} = 1,33 \text{ metros.}$$

La longitud de la terciaria utilizada para el cálculo de las pérdidas de carga continuas es $10 + 1,33 = 11,33$ metros; con esta longitud incluiremos las pérdidas de carga localizadas.

Máxima pérdida de carga admisible según Blassius:

Tubería de PVC_{6 atm} con $\varnothing = 32$ mm.

Pérdida de carga continua y unitaria en la tubería

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{1720^{1,75}}{29,8^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{459382,85}{10058361,83} = \mathbf{0,04}$$

$$H = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot F_g \cdot L = 0,04 \cdot 0,29 \cdot 11,33 = \mathbf{0,13 \text{ m.c.a}}$$

$$F_g = \frac{S_e \cdot n \cdot F + (S_g - S_e) \cdot n_2 \cdot F + (S_0 - S_g)}{L} =$$

$$\frac{1,5 \cdot 4 \cdot 0,497 + (3 - 2) \cdot 2 \cdot 0,497 + (1,5 - 3)}{8,5} = 0,29$$

$$L = (S_0 - S_g) + n_1 \cdot n_2 \cdot S_e + (S_g - S_e) \cdot n_2 = (1,5 - 3) + 4 \cdot 2 + (3 - 2) \cdot 2 = 8,5$$

α = Coeficiente función de la temperatura (tabulado) sin datos = 0,473

D = \varnothing interior de la tubería (mm)

Q = Caudal en cabeza de la tubería (m)

L = longitud de la tubería

F_g = Coeficiente de reducción generalizado

F = Factor de Christiansen = 0,497

$$S_0 = S_e = 2\text{m}$$

$$n = 4 \text{ salidas}$$

$$\beta = 1,75$$



Se tomará este dimensionamiento y esta pérdida de carga debido a que es admisible al ser menor que la pérdida máxima establecida para los ramales laterales de 0,27 m.c.a

II. Tubería porta-emisores (lateral)

El material empleado será PEBD en laterales y PEBD en terciarias, con un $Re < 10^5$.

Longitud: 19 m

Nº de salidas: 10

Caudal por salida: 43 l/h

Caudal total: $43 \times 10 = 430$ l/h

Desnivel: 0 m

Opción adoptada: **PEBD 16 mm**

Longitud equivalente para pérdidas de carga localizadas:

$$Le = c/D^d = 23,04/0,0016^{1,83} = 3,01 \text{ m.c.a}$$

Le = Longitud equivalente que aplicaremos para el cálculo de pérdidas de carga debida a los micro-aspersores.

c = Dato tabulado

D = Ø interior

d = Dato tabulado

Como longitud de la tubería pondremos $19 + 3,01 = 22$ metros con ello en el cálculo de pérdida de carga incluiremos las pérdidas de carga localizadas.

Máxima pérdida de carga admisible según Blassius:

Tubería de PEBD_{2,5 atm} con Ø = 16 mm

Pérdida de carga continua y unitaria en la tubería



$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{430^{1,75}}{13,2^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{40604,09}{210245,2} = \mathbf{0,19}$$

$$H = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot F_g \cdot L = 0,19 \cdot 0,415 \cdot 22 = \mathbf{1,73 \text{ m.c.a}}$$

$$L = s \cdot n = 2 \cdot 10 = 20$$

$$F_g = \frac{1 + n \cdot F - 1}{1 + n - 1} = \frac{1 + 10 \cdot 0,415 - 1}{1 + 10 - 1} = 0,415$$

α = Coeficiente función de la temperatura (tabulado) sin datos = 0,473

D = Ø interior de la tubería (mm)

Q = Caudal en cabeza de la tubería (m)

L = longitud de la tubería

F_g = Coeficiente de reducción generalizado

F = Factor de Christiansen = 0,415

$$S_o = S_e = 2 \text{ m}$$

$$n = 10 \text{ salidas}$$

$$\beta = 1,75$$

Esta pérdida de carga es admisible al ser menor que la pérdida máxima establecida para los ramales laterales de 2,73 m.c.a por lo que la tomamos como pérdida de carga en los ramales laterales.

$$\text{Así la } H_T = h_l + h_t = 1,73 + 0,13 = \mathbf{1,86 \text{ m.c.a}}$$

ESTUDIO DE PRESIONES EN LA UNIDAD

Las presiones y caudales mínimos y máximos son:

$$h_{\min} = 26,4 \text{ m.c.a} \quad q_{\min} = 7,86 \cdot 26,4^{0,5} = 40,38 \text{ l/h}$$

$$h_{\max} = 26,4 + 1,86 = 28,26 \text{ m.c.a} \quad q_{\max} = 7,86 \cdot 28,26^{0,5} = 41,6 \text{ l/h}$$

$$h_a = 30 \text{ m.c.a.} \quad q_a = 43 \text{ l/h}$$



[A] es el punto más alejado y desfavorable:

$$h_{\min} / h_a = [CU / [1 - (1.27 \cdot CV / \sqrt{e})]]^{1/x}$$

CU = 0.90	e = 1
CV = 0.04	q _a = 43 l/h
h _a = 30 m.c.a	x = 0.5

$$h_{\min} = \left[\frac{0,9}{1 - \frac{1,27 \cdot 0,04}{\sqrt{1}}} \right]^{\frac{1}{0,5}} = 0,88 \times h_a = \mathbf{26,4 \text{ m.c.a}}$$

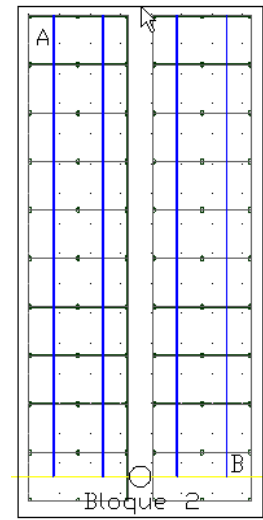


Figura 8. Punto A y B.

TOLERANCIA DE CAUDALES

$$(q_{\max} + q_{\min}) / q_a = (41,6 + 40,38) / 43 = 1,9$$

$$0,1 \cdot q_a = 4,3$$

Para que se cumpla las condiciones de tolerancia $1,9 < 4,3$ con lo que cumple.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD OBTENIDO.

$$CU_A = \left(1 - \frac{1,27 \cdot CU}{\sqrt{n}} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{\min}}{q_a} + \frac{q_a}{q_{\max}} \right) = 0,475 \cdot 1,95 = 0,92$$

CU_A = 0,92 (Mas restrictivo que el inicial del 90%)

$$CU = 0,04$$

n = número de micro-aspersores.

El dimensionamiento de este bloque es el más restrictivo en las naves adosadas, por lo que este dimensionamiento es el que se va a aplicar a los restantes bloques.



2.2 BLOQUE 4 (NAVE CENTRAL)

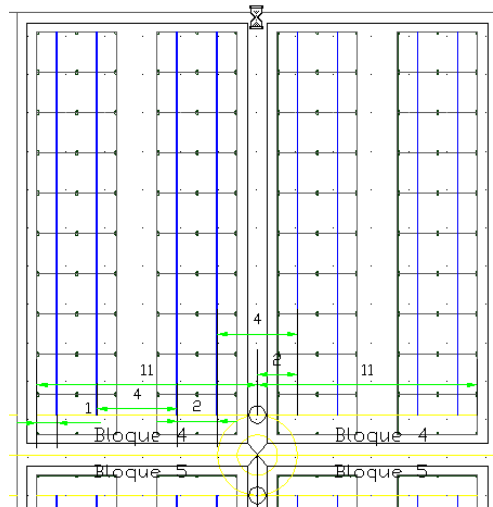


Figura 9. Detalle de las subunidades de riego 4

DISEÑO HIDRÁULICO

ELECCIÓN DEL EMISOR

Se utilizará el tipo de emisores utilizados en las naves adosadas del invernadero. (Ver figuras 4, 5).

Presión nominal: 3 atm

Ø del orificio de salida: 0,82 mm

Caudal nominal: 43 l/h

Conexión: Sobrelínea

Coefficiente de variación del proceso de fabricación: 0,04

Numero de emisores: 10 emisores por ramal porta-emisores

DISPOSICIÓN

Los ramales porta-emisores se situarán a nivel del suelo, mientras que los micro-aspersores (2 en cada mesa de cultivo con un marco de colocación de 2 x 2 m) aparecen a la altura de las mesas. La conexión ramal-microaspersor se consigue mediante la unión de pequeños ramales entre la tubería lateral y el microaspersor.

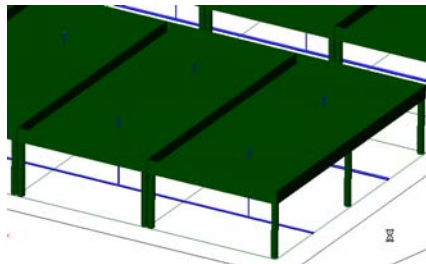


Figura 10. Detalle de la conexión en el bloque 4.

TOLERANCIA DE PRESIONES.

$$q = K \cdot H^x ; 43 = K \cdot 30^{0,5} = 0,73; \quad q = 7,86 \cdot H^{0,5}$$

La **máxima pérdida de carga en la subunidad** es de: $0,1 \times 30 \text{ m.c.a} + 0 =$ **3 m.c.a**, como vemos depende de la presión nominal del emisor elegido y del desnivel del terreno entre el punto más alto y el más bajo, en este caso el terreno está nivelado.

Una vez calculada la pérdida de carga se repartirá entre las distintas tuberías de conducción, tradicionalmente se ha utilizado el criterio de Karmelli Keller, que repartía la pérdida de carga total de la subunidad de la siguiente manera:

- 45% en la tubería terciaria
- 55% en la tubería lateral

Con este criterio no se podía optimizar las tuberías de conducción y vemos como soluciones más económicas aumentan la pérdida de carga en la subunidad, Montalvo y Arviza proponen un sistema en el que el reparto se hará en función del coeficiente de forma, la separación entre laterales.

COEFICIENTE DE FORMA

Longitud del lateral = 19 m

Longitud de la terciaria = 22 m



Separación entre laterales = 2 m entre ramales del mismo grupo de mesas
y 4 metros entre ramales de distinto grupo de mesas.

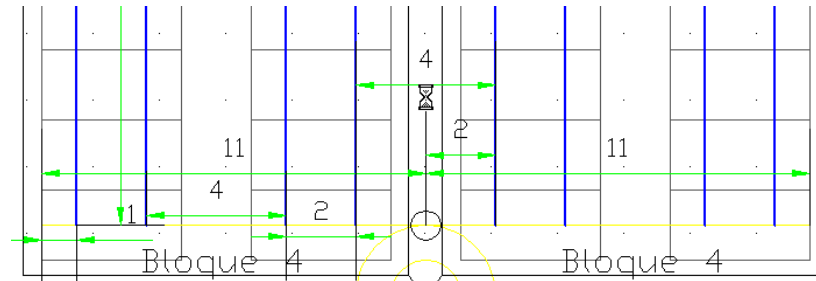


Figura 11. Acotado del riego en la subunidad 4.

$$CF = 19/22 = \mathbf{0,86}$$

Al ser laterales alimentados por su punto extremo Arviza nos dice que el reparto de presiones debe ser:

$$R = 0,776 \cdot CF^{0,1577} / S^{0,060} = 0,776 \cdot 0,86^{0,1577} / 2^{0,06} = 0,776 \cdot 0,97 / 1,04 = 0,72.$$

Significa que podremos perder un 72% de la pérdida de carga en los laterales y un 28% en la terciaria.

$$R = \frac{\Delta hl}{\Delta hs} ; \Delta hl = 2,16 \text{ m.c.a}$$

Δhl = Variación de presiones en los laterales

Δhs = Variación de presiones en la subunidad

$$\Delta hl = \mathbf{2,16 \text{ m.c.a}}$$

$$\Delta ht = 3 - 2,16 = \mathbf{0,84 \text{ m.c.a}}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE CONDUCCIÓN

III. Tubería terciaria (tramo de tomas)

Longitud: 22 m

Nº de salidas: 8



Caudal por salida: 10 micro-aspersores x 43 l/h micro-aspersor = 430 l/h

Caudal total: 430 l/h de cada ramal x 8 ramales = 3440 l/h

Desnivel: 0 m

Opción adoptada: **Tubería de PVC_{6 atm} con Ø = 32 mm**

Longitud equivalente para máxima pérdida de carga localizada:

Se debe a la conexión de los ramales en la terciaria, en el caso de separaciones de estos mayores de 5 metros pondríamos una pérdida de carga igual al 20% de las pérdidas de carga continuas, en nuestro caso utilizaremos la fórmula de T. Montalvo:

$$L_e = 0,10 Q_l^{0,30} N^{0,26} = 0,10 3440^{0,30} 8^{0,26} = 1,97 \text{ metros.}$$

La longitud de la terciaria utilizada para el cálculo de las pérdidas de carga continuas es 22 + 1,97 = 24 metros. En esta longitud incluiremos las pérdidas de carga localizadas.

Máxima pérdida de carga admisible según Blassius:

Tubería de PVC_{6 atm} con Ø = 25 mm

Pérdida de carga continua y unitaria en la tubería

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{3440^{1,75}}{32^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{1545173,58}{4367320,2} = \mathbf{0,108}$$

$$H = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot F_g \cdot L = 0,108 \cdot 0,33 \cdot 24 = \mathbf{0,85 \text{ m.c.a}}$$

$$F_g = \frac{S_e \cdot n \cdot F + (S_g - S_e) \cdot n_2 \cdot F + (S_0 - S_g)}{L} =$$

$$\frac{2 \cdot 8 \cdot 0,415 + (4 - 2) \cdot 4 \cdot 0,415 + (2 - 4)}{22} = 0,33$$

$$L = (S_0 - S_g) + n_1 \cdot n_2 \cdot S_e + (S_g - S_e) \cdot n_2 = (2 - 4) + 8 \cdot 2 + (4 - 2) \cdot 4 = 22$$

$$\alpha = \text{Coeficiente función de la temperatura (tabulado) sin datos} = 0,473$$



$D = \emptyset$ interior de la tubería (mm)

$Q =$ Caudal en cabeza de la tubería (m)

$L =$ longitud de la tubería

$F_g =$ Coeficiente de reducción generalizado

$F =$ Factor de Christiansen = 0,415

$S_o = S_e = 2$ m

$n = 10$ salidas

$\beta = 1,75$

Esta pérdida de carga es admisible al ser igual que la pérdida máxima establecida para los ramales laterales de 0,84 m.c.a.

IV. Tubería porta-emisores

El material empleado será PEBD en laterales y PEBD en terciarias, con un $Re < 10^5$.

Longitud: 19 m

Nº de salidas: 10

Caudal por salida: 43 l/h

Caudal total: $43 \times 10 = 430$ l/h

Desnivel: 0 m

Opción adoptada: **PEBD de 16 mm**

Longitud equivalente para pérdidas de carga localizadas.

$$L_e = c/D^d = 23,04/0,0016^{1,83} = 3,01 \text{ m.c.a.}$$

$L_e =$ Longitud equivalente que aplicaremos para el cálculo de pérdidas de carga debida a los micro-aspersores.

$c =$ Dato tabulado

$D = \emptyset$ interior

$d =$ Dato tabulado



Máxima pérdida de carga admisible según Blassius:

Tubería de PEBD_{2,5 atm} con $\varnothing = 16$ mm

Perdida de carga continua y unitaria en la tubería

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{430^{1,75}}{13,2^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{40604,09}{210245,2} = \mathbf{0,19}$$

$$H = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot F_g \cdot L = 0,19 \cdot 0,38 \cdot 22 = \mathbf{1,58 \text{ m.c.a}}$$

$$L = s \cdot n = 2 \cdot 10 = 20$$

$$F_g = \frac{1 + n \cdot F - 1}{1 + n - 1} = \frac{1 + 10 \cdot 0,38 - 1}{1 + 10 - 1} = 0,38$$

α = Coeficiente función de la temperatura (tabulado) sin datos = 0,473

D = \varnothing interior de la tubería (mm)

Q = Caudal en cabeza de la tubería (m)

L = longitud de la tubería

F_g = Coeficiente de reducción generalizado

F = Factor de Christiansen = 0,38

$$S_o = S_e = 2 \text{ m}$$

$$n = 10 \text{ salidas}$$

$$\beta = 1,75$$

Esta pérdida de carga es admisible al ser menor que la pérdida máxima establecida para los ramales laterales de 2,16 m.c.a por lo que se toma como pérdida de carga en los ramales laterales.

$$\text{Así la } H_T = h_l + h_t = 0,84 + 1,58 = \mathbf{2,42 \text{ m.c.a}}$$

ESTUDIO DE PRESIONES EN LA UNIDAD



Las presiones y caudales mínimos y máximos son:

$$\begin{aligned}h_{\min} &= 26,4 \text{ m.c.a} & q_{\min} &= 7,86 \cdot 26,4^{0,5} = 40,38 \text{ l/h} \\h_{\max} &= 26,4 + 2,42 = 28,82 \text{ m.c.a} & q_{\max} &= 7,86 \cdot 28,82^{0,5} = 42,1 \text{ l/h} \\h_a &= 30 \text{ m.c.a.} & q_a &= 43 \text{ l/h}\end{aligned}$$

[A] es el punto más alejado y desfavorable:

$$h_{\min} / h_a = [CU / [1 - (1,27 \cdot CV / \sqrt{e})]]^{1/x}$$

$$\begin{aligned}CU &= 0,90 & e &= 1 \\CV &= 0,04 & q_a &= 43 \text{ l/h} \\h_a &= 30 \text{ m.c.a} & x &= 0,5\end{aligned}$$

$$h_{\min} = \left[\frac{0,9}{1 - \frac{1,27 \cdot 0,04}{\sqrt{1}}} \right]^{1/x} = 0,88 \times h_a = 26,4 \text{ m.c.a}$$

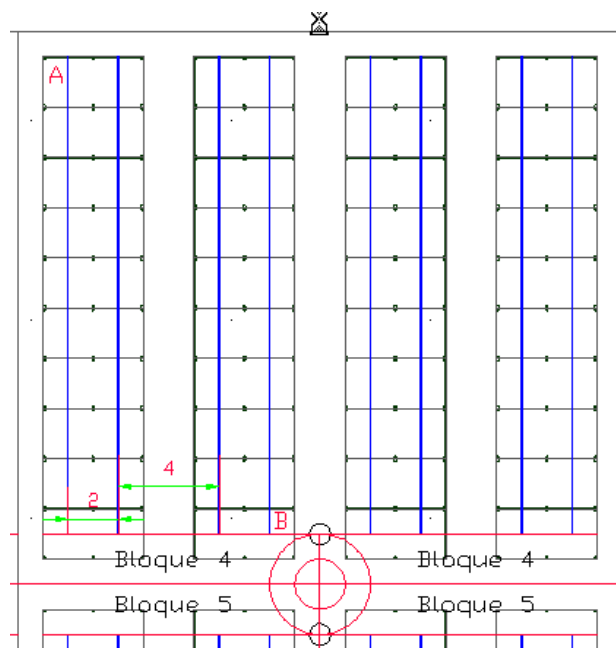


Figura 12. Situación de los puntos A y B.

TOLERANCIA DE CAUDALES



$$(q_{\max} + q_{\min})/q_a = (41,5 + 40,38)/43 = 1,9$$
$$0,1 \cdot q_a = 4,3$$

Para que se cumpla las condiciones de tolerancia $1,9 < 4,3$ con lo que cumple.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD OBTENIDO.

$$CU_A = \left(1 - \frac{1,27 \cdot CU}{\sqrt{n}}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{\min}}{q_a} - \frac{q_a}{q_{\max}}\right) = 0,95 \cdot 0,5 \cdot (0,93 + 1,02) =$$

0,92

$CU_A = 0,92$ (Mayor que el previsto inicialmente de 0,9)

$CU = 0,04$

n = número de micro-aspersores.

El dimensionamiento de este bloque es el más restrictivo por lo que este dimensionamiento es el que se va a aplicar también a las subunidades simétricas.

2.3- CÁLCULO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

El agua que regará las plantas del invernadero procede de un pozo que estará situado a las afueras del invernadero, con lo que la conducción de este agua se hará mediante tubería enterrada hasta la nave central del invernadero y en este punto pondremos una te de PVC que provocará la ramificación de la tubería en dos tramos que llevarán el agua a las naves adosadas.

El criterio seguido a la hora del dimensionamiento es el de conseguir pérdidas de carga pequeñas en tuberías con diámetros reducidos, con lo que ahorraremos energía en el grupo de bombeo y costes por el menor coste de la instalación. Para ello intentaremos que la velocidad del agua en el interior de las conducciones no supere los 1,5 m/s, mayoraremos las pérdidas de carga en un 15% y utilizaremos PVC de 6 atm debido a que el de 4 atm no soporta posibles depresiones provocadas por el grupo de bombeo.

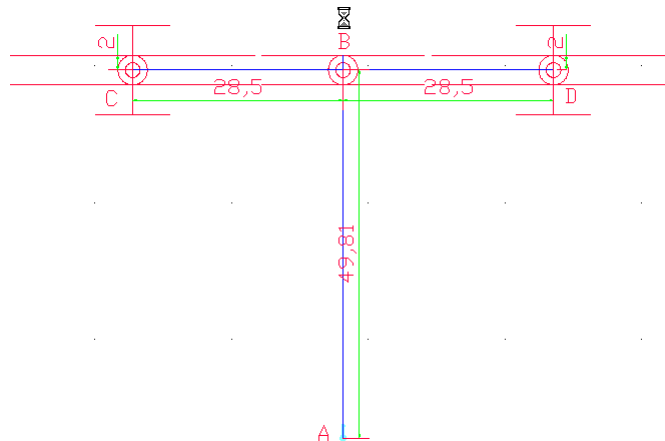


Figura 13. Acotado de la tubería general

Tramo	Caudal	Longitud	Material	Diámetro
AB	3440	50	PVC	40 mm
BC	3440	28,5	PVC	40 mm
BD	3440	28,5	PVC	40 mm
CC'	1720	11	PVC	25 mm
DD'	1720	11	PVC	25 mm

Tramo AB (pozo-interior de la nave central)

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,059 \cdot 49,8 = 3,37 \text{ m.c.a}$$

$$a = 1,15$$

$$F = 1$$

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{3440^{1,75}}{36,4^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{1545173,58}{26015463,7} = 0,059$$

$$Q = 3440 \text{ l/h} = 9,5 \cdot 10^{-4}$$

$$L = 49,8 \text{ m}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q^{1,75}}{\pi \cdot D^2} = 3,8 \cdot 10^{-3} / 0,0041 = 0,92 \text{ m/s} < 1,5 \text{ m/s}$$

Material = PVC 6 atm 40 mm de diámetro



Tramo BC

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,059 \cdot 28,5 = \mathbf{1,93 \text{ m.c.a}}$$

$$a = 1,15$$

$$F = 1$$

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{3440^{1,75}}{36,4^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{1545173,58}{26015463,7} = \mathbf{0,059}$$

$$Q = 3440 \text{ l/h} = 9,5 \cdot 10^{-4}$$

$$L = 28,5 \text{ m}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q^{1,75}}{\pi \cdot D^2} = 3,8 \cdot 10^{-3} / 0,0041 = \mathbf{0,92 \text{ m/s}} < 1,5 \text{ m/s}$$

Material = PVC 6 atm 40 mm de diámetro

Tramo BD

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,059 \cdot 28,5 = \mathbf{1,93 \text{ m.c.a}}$$

$$a = 1,15$$

$$F = 1$$

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{3440^{1,75}}{36,4^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{1545173,58}{26015463,7} = \mathbf{0,059}$$

$$Q = 3440 \text{ l/h} = 9,5 \cdot 10^{-4}$$

$$L = 28,5 \text{ m}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q^{1,75}}{\pi \cdot D^2} = 3,8 \cdot 10^{-3} / 0,0041 = \mathbf{0,92 \text{ m/s}} < 1,5 \text{ m/s}$$

Material = PVC 6 atm 40 mm de diámetro

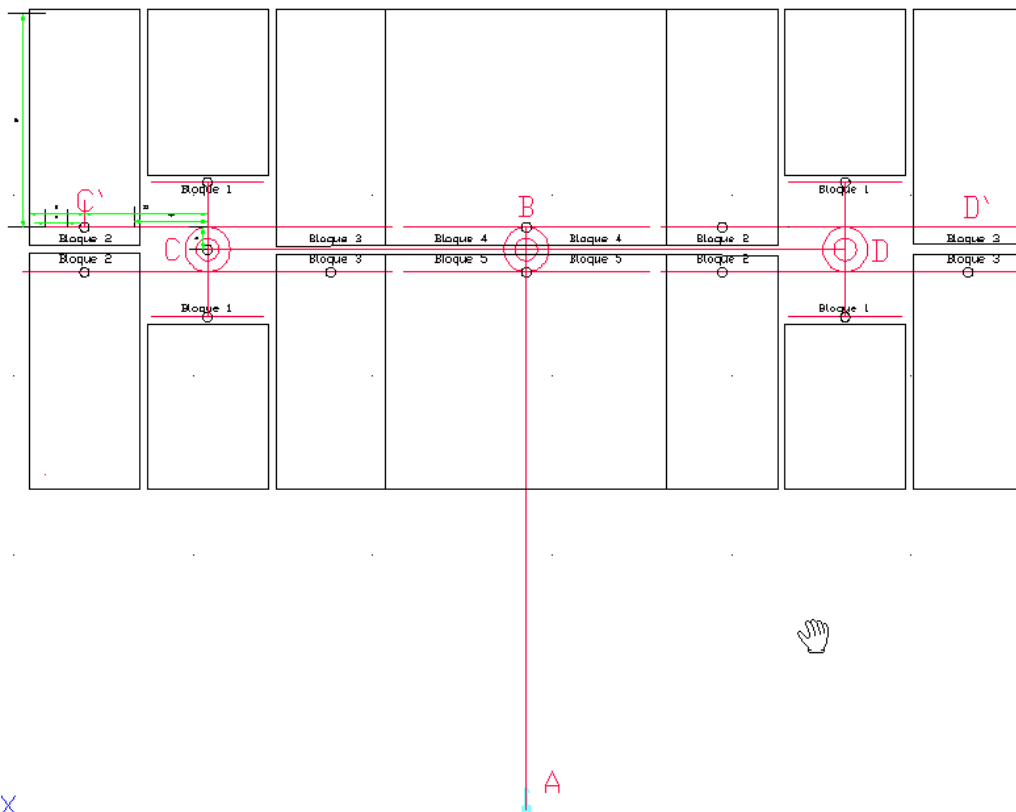


Figura 14. Tramos de tubería general de riego en el invernadero.

Tramo BB'

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,16 \cdot 11 = \mathbf{2,02 \text{ m.c.a}}$$

$$a = 1,15$$

$$F = 1$$

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{1720^{1,75}}{22,6^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{459382,85}{2704052,2} = \mathbf{0,16}$$

$$Q = 1720 \text{ l/h} = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ l/h}$$

$$L = 11 \text{ metros}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q^{1,75}}{\pi \cdot D^2} = 0,0019 / 0,0016 = \mathbf{1,18 \text{ m/s}} < 1,5 \text{ m/s}$$

Material = PVC 6 atm 25 mm de diámetro

**Tramo CC'**

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,16 \cdot 11 = \mathbf{2,02 \text{ m.c.a}}$$

$$a = 1,15$$

$$F = 1$$

$$J = \alpha \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,473 \cdot \frac{1720^{1,75}}{22,6^{4,75}} = 0,473 \cdot$$

$$\frac{459382,85}{2704052,2} = \mathbf{0,16}$$

$$Q = 1720 \text{ l/h} = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ l/h}$$

$$L = 11 \text{ metros}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q^{1,75}}{\pi \cdot D^2} = 0,0019 / 0,0016 = \mathbf{1,18 \text{ m/s}} < 1,5 \text{ m/s}$$

Material = PVC 6 atm 25 mm de diámetro

Se podría ajustar mucho más y dimensionar estas tuberías con diámetros menores, pero para asegurar posibles aumentos de caudal, para regar al mismo tiempo 4 subunidades en vez de 2, el caudal en este caso será de 6880 litros/hora que aumentará la velocidad del agua en el interior de las tuberías A-B, B-C y B-C' de los 0,92 m/s a los 1,8 m/s (al límite de lo establecido) con lo que es posible con el dimensionamiento establecido hacer frente a esta demanda.

2.4- CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CABEZAL

El cabezal de riego estará situado en la salida del pozo y dispondrá de los elementos necesarios para un perfecto filtrado del agua que evite obstrucciones en los micro-aspersores, además de un equipo de fertirrigación que permitirá aportar el alimento necesario a las plantas.

1-Hidrociclón

Tipo de filtrado: Filtrado grueso

Caudal: 6880 l/h es el caudal que pasará mientras que el hidrociclón es de 10.000 litros de caudal nominal.



Proceso de filtrado: Es un filtrado consistente en decantación de partículas gruesas mediante la fuerza centrífuga.

Debido a la existencia de partículas gruesas que se desprenden de las paredes del pozo y de la propia tubería de impulsión, es necesario este elemento de filtrado de partículas gruesas mediante la fuerza centrífuga.

Pérdida de carga: 4 m.c.a

Datos técnicos

B pulgadas	D mm	H mm	L mm	Peso kg	Volumen m ³	Caudal recomendado m ³ /h	Presión máx. de trabajo kg/cm ²	Conexiones
2"	8"	792	300	20	0,063	11-17	8	2" RM
3"	8"	910	300	26	0,133	18-34	8	3" brida o victaulic
4"	16"	1630	600	105	1,100	52-82	8	4" brida o victaulic
6"	20"	2195	600	230	1,350	98-160	8	6" brida o victaulic

Esquema de trabajo del separador de hidrociclón

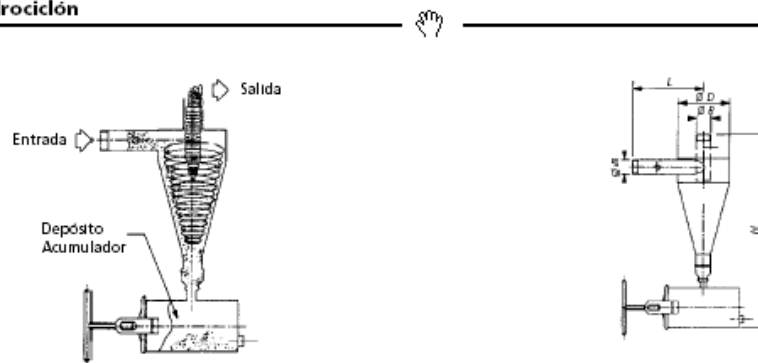


Figura 15. Datos técnicos de hidrociclones.

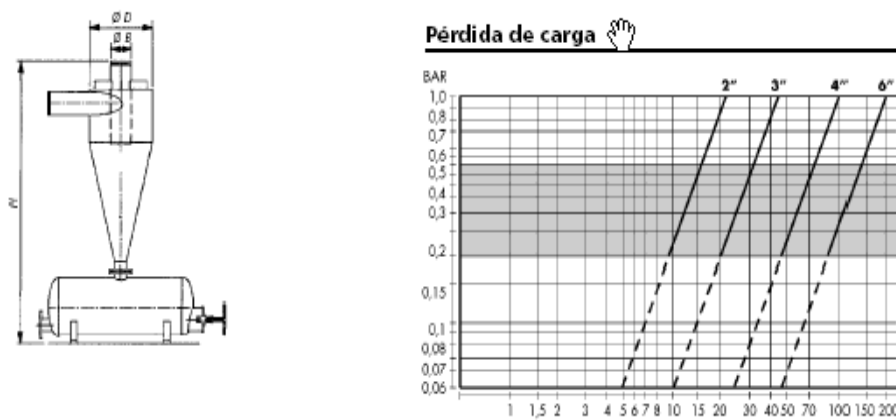


Figura 16. Pérdidas de carga en ciclones.



2- Filtro de arena

Consiste en un tanque de arena por el cual mediante una entrada superior entrará agua, que gracias a un deflector no incidirá directamente en la arena para que no se remueva. En la parte inferior tendremos una salida de agua que conectada a un colector tamizado que estará en el interior del tanque y que dará salida al agua filtrada en el interior de éste por el tamiz formado por la propia granulometría de la arena. El tanque cuenta con aperturas para la eliminación de la arena del interior así como una salida superior de agua para la eliminación de agua sucia en un proceso de contrafiltrado.

El filtrado es producido por la decantación ya que los poros formados por los granos de arena actuarán como decantadores, filtración producida por la granulometría de los granos de la arena y adhesión y cohesión de partículas a los propios granos de arena.

La granulometría de la arena es cuidadosamente elegida, de modo que el diámetro de los granos de arena serán iguales al diámetro menor de el orificio de salida de los emisores.

En el interior del filtro el agua debe de mantener una velocidad no superior a los 60 m/h y el caudal por seguridad se aumentará en un 20% evitando que puedan aparecer problemas derivados de sobrecaudal.

La superficie filtrante es de:

$$S = Q/V; S = 10 / 60 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$D = 0,45 \text{ m}$$

Tendremos un filtro de arena que filtrará un caudal de agua de los 10000 litros a la hora tendrá un diámetro mínimo de 45 cm y una arena de granulometría inferior a los 0,82 mm.



Para el perfecto funcionamiento del filtro cuando la pérdida de carga en el sea superior a los 4 m.c.a se limpiará mediante un contrafiltrado y la pérdida máxima en el es de los 2 m.c.a.


3- Filtros de anillas

Tipo de filtrado: filtrado fino

Caudal del filtro: 10.000 l/h

Proceso de filtrado: Es un conjunto de discos o anillas de plástico, con ranuras en una o ambas caras, en contacto unas con otras, comprimidas y montadas sobre un soporte cilíndrico de superficie perforada. El filtrado es el producto del paso del agua por estas ranuras donde las partículas quedarán frenadas.

El filtrado dependerá del número de ranuras y la profundidad de ellas. La limpieza se hará cuando halla una variación de presión de 2 m.c.a con respecto a la pérdida de carga del filtro limpio.



FILTROS DE MALLA METÁLICOS EN Y						
Modelo	Conexión	Presión trabajo kg/cm ²	Caudal máximo recom. m ³ /h	SR: Serie BP: Bajo Pedido	CÓDIGO	€/ud
FMY - 2"	2" - R	10	20	SR	103558	180,26
FMY - 3"	3" - Brida	10	40	SR	102963	230,58
FMY - 4"	4" - Brida	10	80	SR	103559	334,28
FMY - 5"	5" - Brida	10	100	SR	7001600	408,99
FMY - 6"	6" - Brida	10	150	SR	7002217	646,80
FMY - 8"	8" - Brida	10	300	BP	7002218	1.396,64
FMY - 10"	10" - Brida	10	400	BP	7001601	1.696,57

Malla standard - 120 mesh
Bajo pedido puede suministrarse con otra luz de malla

Figura 17. Detalle de un filtro de anillas.

Una vez acabado este proceso podremos incorporar el fertilizante necesario en la abonadora al agua limpia.



3- Equipo de fertirrigación

Consta de dos abonadoras de polietileno, debido a que es un material que aguanta bien la corrosión resistente y poco pesado, una de ellas será utilizada para abonos líquidos y la otra para soluciones madre de abonos sólidos, su capacidad es de 50 litros cada una y estarán conectadas a la tubería para la dosificación de los productos, debido a que el suministro de productos se hace mediante camiones y aparece un ahorro considerable el suministro de cantidades grandes, se dispondrán dos depósitos grandes en el cabezal de 1000 litros cada uno de polietileno para tener reserva de abonos.

Capacidad: 50 litros

Tipo de dosificación: Bombas de dosificación

4- Bombas dosificadoras

Son bombas que inyectaran los productos de las abonadoras a la tubería general son alimentadas eléctricamente y ambas dosificarán fertilizantes según un programador eléctrico de riego que las conectará.

5- Otros elementos

- Válvula de retención a la salida del cabezal de la bomba
- Válvula de presión a la salida del cabezal de riego
- Dosificador de riegos
- Electroválvula para el ciclón
- Llaves y codos para el cabezal
- Un caudalímetro impuesto por la confederación hidrográfica del Guadiana.

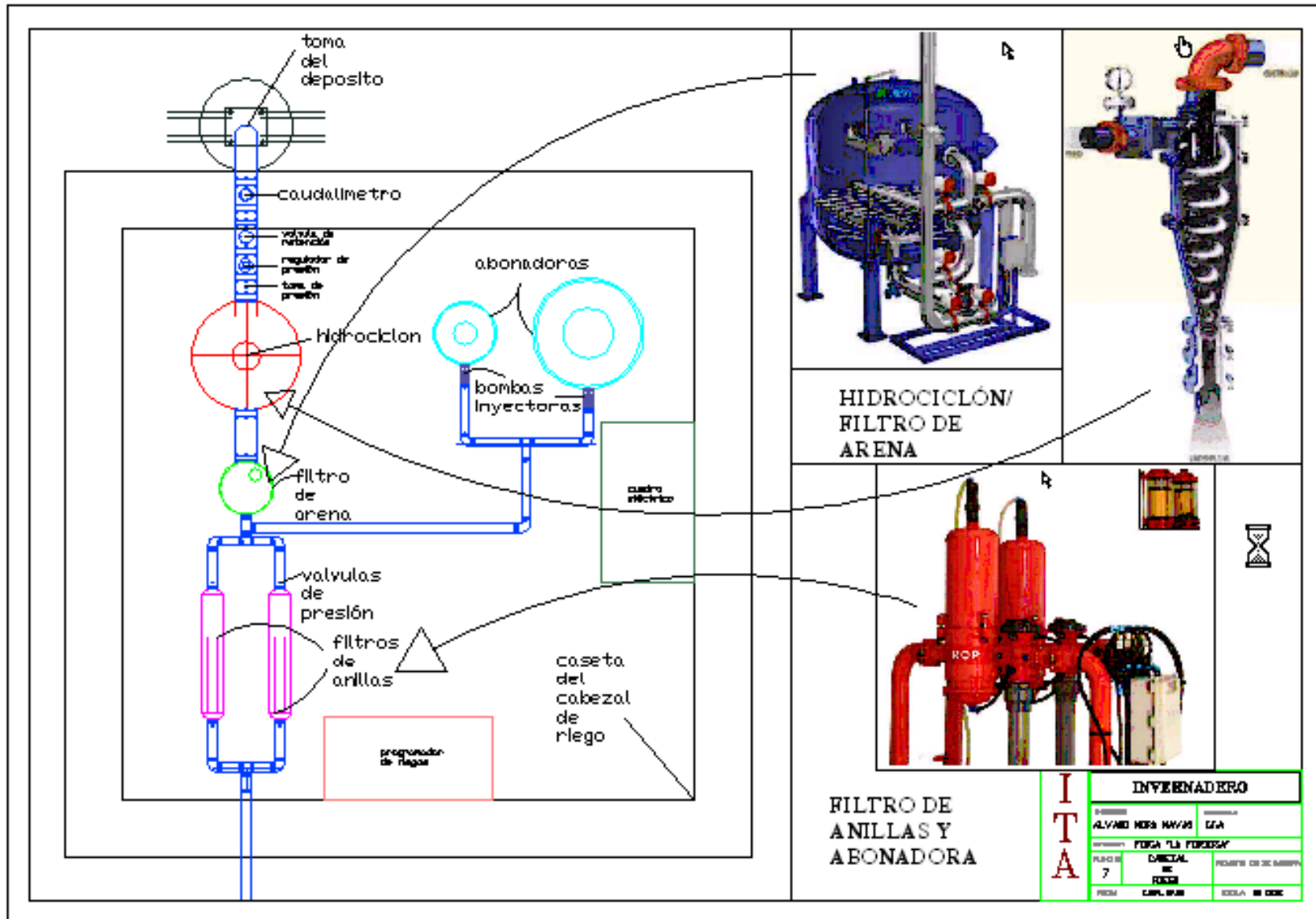


Figura 19. Cabezal de riego



2.5- CALCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA DEL GRUPO DE BOMBEO DEL CABEZAL.

Presión necesaria a la salida del cabezal:

Presión mínima requerida en el punto más lejano del cabezal + pérdida de carga en lateral + pérdida de carga en la terciaria + pérdida de carga en la general + pérdida de carga en el cabezal de riego = $26,4 + 1,73 + 0,13 + (2,02 + 1,93 + 3,37) + 10 = 45,58$ m.c.a

Pérdida de carga en la abonadora: ninguna

Pérdida de carga en el filtro de anillas: 2 m.c.a

Pérdida de carga en el hidro-ciclón: 4 m.c.a

Pérdida de carga en el filtro de arena: 2 m.c.a

Pérdida de carga en juntas singulares del cabezal: 2 m.c.a

2.6- CALCULO DE LA POTENCIA DEL GRUPO DE BOMBEO

El caudal máximo requerido por el grupo de bombeo será de 3500 l/h, en el caso de regar dos subunidades a la vez y 7000 l/h en el caso de regar 4 subunidades de riego a la vez.

Profundidad del pozo: 110 metros

Nivel estático: 56 metros

Nivel dinámico: 62 metros

Profundidad de la bomba: 80 metros

Caudal: 3500 litros

Colocando una tubería de hierro fundido de 2" de 50,8 mm de diámetro.

Debido al bajo caudal a extraer del pozo se ha optado por disponer en superficie de un deposito prefabricado de hormigón de agua de 100.000 litros de capacidad, del cual y mediante una pequeña bomba se extraerá el caudal necesario para el riego del invernadero. (Bomba que extrae 10.000 litros a la hora). Este



depósito a su vez es llenado por una bomba sumergida de 14 turbinas situada en el pozo que extrae 90.000 l/h, la cual está situada a una profundidad de 80 metros con una columna de agua por encima de ella de 25 metros, a su vez, suministra el agua necesaria para el riego de los cultivos plantados en el resto de la parcela.

Dimensiones del depósito de agua.

Radio: 5 metros

Profundidad: 1,5 metros

Espesor de la capa de hormigón: 0,2 metros

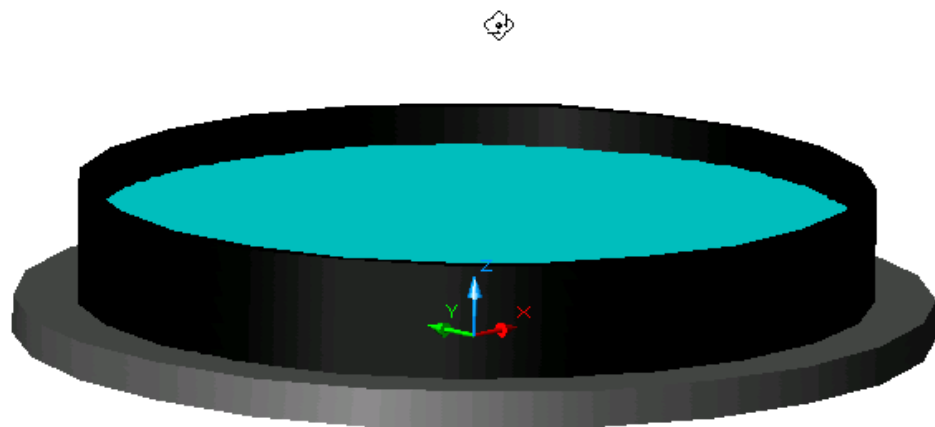


Figura 19. Balsa para el riego del invernadero.

Sin la realización de cálculos pondremos en el depósito del agua, una bomba de un caudal de 10.000 l/h que aporte agua con una presión de salida de 45,58 m.c.a o 4,55 atm de presión, para el perfecto funcionamiento del riego.

Según lo anterior la pérdida de carga en el tramo de impulsión disponiendo de tubería de hierro de 150 mm de diámetro.

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1,06 \text{ m.c.a}$$

$$a = 1,20$$

$$F = 1$$

$$J = 1.105 \%$$



$$L = 80 \text{ metros}$$

$$Q = 90.000 \text{ l/h} = 25 \text{ l/s}$$

$$V = 1,41 \text{ m/s}$$

En la impulsión hasta el nivel del terreno (0 metros) se pierde $80 + 1,06 = 81,06$ m.c.a o lo que es lo mismo 8,1 atm.

Esta bomba necesita una presión a la salida del cabezal de 5 atm para el perfecto riego del resto de la parcela, dicho riego que se hará mediante aspersores. Las necesidades de presión para el depósito son nulas.

La bomba tendrá las siguientes características en cuanto a cálculo.

$$H_m = 5 + 8,1 = 13,1 \text{ atm}$$

$$Q = 90.000 \text{ l/h}$$

Rendimiento mínimo:

$$\text{Potencia requerida por la bomba (CV)} = N = \frac{Q \cdot H}{270 \cdot \eta} = 54,5 \text{ CV}$$

Necesitamos una bomba de al menos 55 CV de potencia que suministre un caudal de 90.000 litros/h a una altura de 126 m.c.a.

$$K_w = 55 \times 0,736 = 40,17 \text{ kw}$$