Cálculo de una Instalación de Riego por Goteo

Índice de contenidos:

1- Introducción

1.1- Generalidades

1.2- Ventajas e inconvenientes

2- Componentes del sistema

2.1- Emisores o goteros

2.2- Red de distribución de tuberías

2.3- Filtros

2.4- Equipo de Fertirrigación

2.5- Válvulas

2.6- Equipo de bombeo

3- Datos de partida

3.1- Emplazamiento de la parcela de cultivo

3.2- Estimación de las necesidades de agua

4- Calculo de la instalación de riego

4.1- Pozo de suministro y red de distribución de agua

4.2- Dimensionado de tuberías y derivaciones

4.3- Pérdidas de carga en la instalación

4.4- Dimensionado del grupo de bombeo

Ejemplos de Proyectos:

Proyecto Técnico para la Puesta en Riego de 3 ha de Cultivo de Cerezo

Anexos:

A.1- Manual de Ingeniería para Bombas SP de Grundfos

A.2- WebCAPS de Grundfos - Selección y Dimensionamiento Online

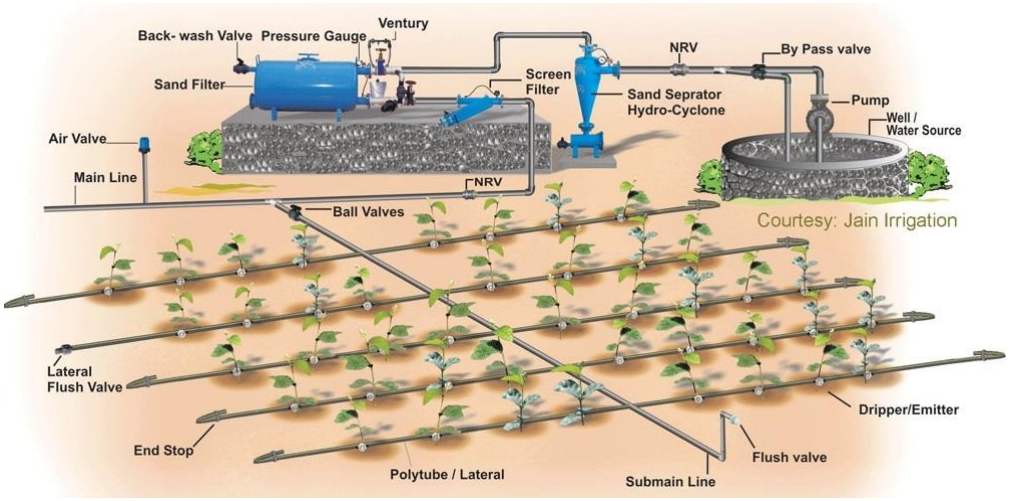
DESARROLLO DEL CONTENIDO

1- Introducción

1.1- Generalidades

Uno de los sistemas de riego más extendido y empleado, debido a su eficacia y al ahorro de agua que se consigue, es el sistema de riego localizado por goteo.

En una instalación de riego por goteo se pueden distinguir, a grandes rasgos, los siguientes componentes:



- el grupo de bombeo de agua: que comprende, además de la bomba de agua, la tubería de aspiración de agua desde la fuente (pozo o depósito) y la tubería de impulsión a la salida de la bomba;

- el cabezal de la instalación: que comprende un conjunto de aparatos destinados a tratar, medir y filtrar el agua, además de los dispositivos de inyección de fertilizantes;

- la red de distribución de tuberías: que la forman por un lado las líneas principales y secundarias de distribución que suelen ir enterradas, y por otro lado, los ramales portagoteros que recorren por la superficie del terreno las hileras de cultivo para la descarga del agua;

- los emisores o goteros: que son los elementos encargados de aplicar el agua a las plantas y que van insertados en los ramales portagoteros a cada cierta distancia uno de otro, coincidiendo generalmente con la posición de la planta.

En este tutorial se realizará, en primer lugar, un estudio por separado de los componentes principales que forman una instalación de riego por goteo, y a continuación se realizará un caso práctico de cálculo y diseño de una instalación para una parcela de terreno dedicada al cultivo del olivar.

1.2- Ventajas e inconvenientes

Debido a las innumerables ventajas, los sistemas de riego por goteo han alcanzado un gran desarrollo y aplicabilidad. Entre estas ventajas caben destacar las siguientes:

- sistema muy eficiente que permite un gran ahorro de agua, ya que localiza el riego justo donde están las raíces de la planta, evitando pérdidas en la conducción

- no necesitan de una supervisión o control constante

- los ciclos de regado se pueden ajustar a las necesidades del suelo y el cultivo

- se puede aplicar técnicas de fertirrigación, que permiten la dosificación del fertilizante en el momento que se necesita, de manera rápida y barata, sobre el propio flujo de agua.

Entre los inconvenientes más destacables en los sistemas de riego por goteo está el riesgo de obstrucción, tanto de los goteros como de otros componentes de la instalación (filtros, dosificadores de abonos...), lo que obliga a instalar un eficiente sistema de filtrado que requiere de cierto labor de mantenimiento para mantenerlo lo más limpio posible, con objeto de evitar pérdidas de carga en la instalación y eficacia del propio sistema de filtrado.

Los problemas de obstrucción pueden ser causados por la inclusión en el sistema de partículas de distinta naturaleza:

• partículas orgánicas, tales como restos vegetales y animales, algas...
• partículas minerales, tales como arena, limo, arcilla...
• o precipitados químicos, procedentes de restos de abonos y otros aditivos (herbicidas, insecticidas...).

Además, las características del agua pueden agravar los riesgos de obstrucción del sistema de riego, como puedan ser el contenido de sales disueltas, el pH del agua o la temperatura.

En este sentido, algunas características del agua como la temperatura son variables, de modo que cuando la temperatura del agua baja aumenta la probabilidad que se produzcan precipitación de elementos que son solubles.

Mención destacada merece el empleo de la técnica de fertirrigación, de mucha aplicación en el sistema de riego por goteo. No obstante, la inyección de fertilizantes y abonos disueltos en la corriente de agua puede modificar sustancialmente algunas cualidades del agua de riego, aumentando los riesgos que se produzcan obstrucciones en la instalación debida a precipitados e incrustaciones de restos de fertilizantes.

A continuación se realizará un estudio detallado de los principales elementos que constituyen un sistema de riego por goteo.

2- Componentes del sistema

2.1- Emisores o goteros

Los emisores, también llamados goteros, son los dispositivos que insertados en la tubería portagoteros, serán los encargados de verter el agua al suelo en forma de gotas continuadas.

Los goteros más utilizados son los de tipo botón, que van pinchados directamente sobre el propio ramal portagoteros, como se ve en la figura adjunta.

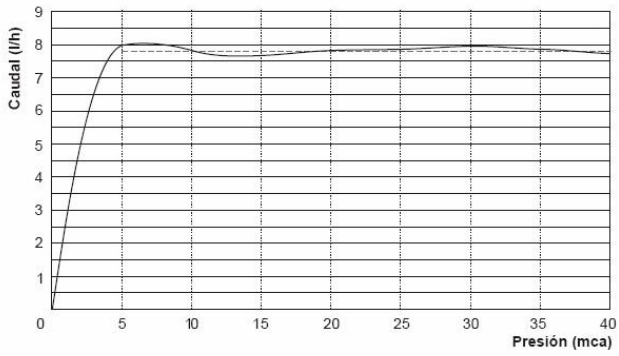
Su funcionamiento se basa en hacer pasar el agua a través de pequeños orificios o laberintos por el interior del gotero lo que provoca una pérdida de carga por fricción del agua, y que hace que la presión del agua a la salida del gotero sea muy pequeña, prácticamente cero.

De esta forma, los goteros son unos dispositivos que necesitan muy poca presión en el flujo de agua para poder funcionar, manteniendo un continuado goteo de agua en el suelo.

Dependiendo de las medidas de paso a través del gotero, existen distintos tipos de goteros que pueden descargar un caudal de agua que puede oscilar entre 1 hasta los 10 litros/hora (l/h).

En otro orden de cosas, y dentro de la gran variedad de goteros existentes, están los denominados goteros autocompensantes.

Tabla de descargas



Caudal: 8 l/h.
Rango Pres. Autocompensación:
5 -40 mca.
Pres. Cierre Mods. Antidrenantes:
1,5 / 4 mca.

Equación	C. Nominal
$Q = 7{,}84523.H^{-0.0052}$	7,812 l/h
C.V.	Desv.
2,688 %	0,492 %

Logitud recomendada de los laterales sobre terreno llano (m)

SETA 8 L/H. Presión de entrada: 2,5 Kg/cm²	Espaciamiento (m)								
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	3,00	5,00	7,00	10,00
Pe 16 (Esp. 1,2 mm.)	41	71	95	117	154	245	341	422	532
Pe 16 (Esp. 1,4 mm.)	39	67	90	110	146	232	323	402	504
Pe 18 (Esp. 1,3 mm.)	54	91	121	148	194	306	425	527	662
Pe 20 (Esp. 1,2 mm.)	72	119	157	190	248	388	538	667	836

Este tipo de goteros son capaces de mantener un caudal relativamente constante de descarga de agua siempre que la presión del ramal donde va instalado el gotero se encuentre dentro de un determinado rango de presiones que fija el fabricante.

En el caso del gotero de la figura, éste es capaz de entregar un caudal constante de 8 l/h, siempre que el flujo de agua en el ramal portagoteros se encuentre en un rango de presiones de 5 hasta 40 metros de columna de agua (m.c.a.).

Esto es muy útil cuando los ramales de tuberías donde van instalados los goteros son muy largos que pueden presentar mucha variación de presión entre el comienzo y el final de la tubería, o en terrenos accidentados con muchos desniveles.

Pero en general, las presiones de trabajo para los goteros se situarán entre los 10 y 20 m.c.a., que son las presiones normales de trabajo en las instalaciones de riego de cultivos.

En otro orden de cosas, el régimen de funcionamiento de un gotero viene establecido por una formulación del tipo:

$$q = k \cdot h^x$$

donde,

q es el caudal de descarga del gotero, en l/h (litros/hora)
k es un coeficiente adimensional que debe ser suministrado por el fabricante del gotero

h es la presión que tiene el agua a la entrada del gotero, expresada en m.c.a. (metros de columna de agua)

x es el exponente de descarga del gotero, que también debe ser suministrado su valor por el fabricante.

Este exponente de descarga (*x*) expresa la sensibilidad de los goteros a las variaciones de presión. Cuando su valor se aproxima a *1* significa que el caudal del gotero varía mucho con los cambios de presión. Cuando el valor se aproxima a cero significa que el caudal varía muy poco con las variaciones de presión, en cuyo caso el gotero se llama autocompensante. Interesa, por tanto, que el exponente de descarga sea en todo caso bajo o próximo a cero. Valores típicos de este exponente son los siguientes:

- Emisores de orificio → *x= 0,5*
- Emisores de laberinto → *x= 0,5*
- Emisores tipo Vortex → *x= 0,4*
- Emisores autocompensantes → *x= 0...0,3*

Goteros
Autocompensantes
--
Catálogo de productos

En la instalación, objeto de este tutorial, se emplearán goteros autocompensantes como el modelo que se mostraba en la figura anterior.

Este tipo de gotero puede descargar un caudal de agua de 8 litros/hora aproximadamente, para un rango de presiones de 5 a 40 m.c.a.

Como ya se indicó, los goteros autocompensantes son especialmente recomendables en terrenos con grandes desniveles donde se producen grandes diferencias de presión, o cuando se emplean ramales de una gran longitud que originan mayores pérdidas de presión, lo que hace variar la presión del agua entre el principio y la parte final de la tubería. De esta manera, el gotero autocompensante mantendrá el caudal de descarga aunque se produzcan estas variaciones en la presión.

Como inconveniente tienen que las variaciones extremas de temperatura pueden afectar a la membrana flexible que poseen en su interior para regular su funcionamiento, por lo que al cabo de cierto tiempo pueden perder su propiedad autocompensante.

Los fabricantes, debido a las tolerancias en la fabricación de los goteros, proporcionan el llamado coeficiente de variación (C.V.), que tiene en cuenta el % de desviación estadística del caudal real respecto al

caudal emitido por el gotero en los ensayos estándar. Es decir, la posible variación entre el caudal real que al final descarga el gotero respecto al nominal que aparece en sus características técnicas.

En este sentido, los goteros se pueden clasificar en dos categorías:

PROGRAMA DE COLABORACIÓN

Colabora en el sostenimiento de esta WEB

[+info]

• Categoría A. Coeficiente de variación inferior a 0,05 (CV<5%).
• Categoría B. Coeficiente de variación comprendido entre 0,05 y 0,1 (5%<CV<10%)

El gotero seleccionado de la figura tiene un coeficiente de variación (C.V.) del 2,688%, según se indica en la figura anterior, por lo que pertenece a un gotero Categoría A.

Por último, recordar que el gran problema en el riego por goteo es el riesgo de obturación de los goteros. Este riesgo va a depender en gran medida de la velocidad del agua (interesa velocidades altas para evitar atascos) y del tamaño del orificio de salida del gotero.

En este sentido, según el tamaño de la salida, los goteros se pueden clasificar también en:

1) Goteros de tamaño pequeño: diámetro del orificio de salida inferior a 0,7 mm. Riesgo elevado de obstrucción.

2) Goteros de tamaño mediano: diámetro del orificio de salida comprendido entre 0,7 y 1,5 mm. Riesgo medio de obstrucción.

3) Goteros de tamaño grande: diámetro del orificio de salida mayor de 1,5 mm. Riesgo bajo de obstrucción.

2.2- Red de distribución de tuberías

Tanto para las líneas principales como las secundarias de distribución, y dado que las presiones de trabajos en las instalaciones de riego por goteo no son muy elevadas, las tuberías de material plástico, en concreto, policloruro de vinilo (PVC) y de polietileno (PE) son las más utilizadas por su economía y facilidad de instalación.

Toda tubería de plástico deberá llevar marcado sobre su superficie, además de la marca comercial y la normativa a la que hace referencia, la identificación del material del que está fabricada la tubería (PVC, PE, etc.), su presión nominal de diseño (PN) y su diámetro nominal (DN).

En las tuberías de plástico el diámetro nominal (DN) coincide con el diámetro exterior de la tubería.

No obstante, con frecuencia las tuberías de plástico se designan también por su diámetro en pulgadas. En este caso, sin embargo, el diámetro en pulgadas de la tubería equivaldrá aproximadamente a su diámetro interior.

La correspondencia entre el diámetro nominal y diámetro en pulgadas para las tuberías de plástico se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1. Equivalencia entre diámetro nominal y diámetro en pulgadas

Diámetro nominal, DN (mm)	12	16	20	25	32	40	50	63	75	90
Diámetro en pulgadas (inch, in)	¼	3/8	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3

- **Tuberías de PVC:**

Las tuberías de PVC se clasifican según varios Tipos y dentro de cada tipo, en Grados. Las de Tipo I son las que ofrecen mejor resistencia a la tracción y a los agentes químicos.

Tubos de PVC para Riego y Uso Agrícola

--

Catálogos de productos

Las más empleadas para sistemas de conducción y abastecimiento de agua son las tuberías de PVC, Tipo I, Grado I, con las siguientes características:

- Gran resistencia a la corrosión y a los agentes químicos; buena resistencia a la tracción y al golpe de ariete; buen comportamiento frente al envejecimiento, bajo coeficiente de fricción y poco peso.

- No pueden estar expuesta a la radiación solar porque perjudica a sus propiedades mecánicas.

En general, las tuberías de PVC resisten poco a la radiación solar y terminan degradándose si no se protegen. Por ello, si se emplean tuberías de PVC, éstas deberán ser enterradas en el terreno para protegerlas del sol y las inclemencias atmosféricas.

Las profundidades mínimas recomendadas, según el diámetro de la tubería son las siguientes:

- 50 cm para diámetros comprendidos entre 20 y 75 mm
- 65 cm para diámetros comprendidos entre 75 y 110 mm
- 80 cm para diámetros mayores de 110 mm.

Además de Tipos y Grados, las tuberías de PVC se dividen en clases, las cuales indican cuál es la presión de trabajo máxima y la mínima que puede producir la rotura de la tubería:

Tabla 2. Presión de trabajo y Presión de ruptura en tubos de PVC, según Clase

Clase	Presión Mínima de Ruptura	Presión Máxima de Trabajo
16	68 kg/cm^2 (680 m.c.a)	16 kg/cm^2 (160 m.c.a)
10	51 kg/cm^2 (510 m.c.a)	10 kg/cm^2 (100 m.c.a)
6	28 kg/cm^2 (280 m.c.a)	6 kg/cm^2 (60 m.c.a)
4	22 kg/cm^2 (220 m.c.a)	4 kg/cm^2 (40 m.c.a)

En la siguiente tabla se incluyen las dimensiones y unos precios orientativos de tuberías de PVC para distintas presiones:

Tubería de presión de PVC											
Diámentro exterior	PN-2,5		PN-4		PN-6		PN-10		PN-16		
D mm.	e mm	Precio €/m	e mm	Precio €/m	e mm	Precio €/m	e mm	Precio €/m	e mm	Precio €/m	e mm
16											1,3
20											1,9
25									1,9	1,33	2,3
32									2,4	1,99	2,9
40						1,70	1,9	1,59	3,0	2,26	3,7
50					1,8	1,96	2,4	2,36	3,7	3,45	4,6
63					2,0	3,00	3,0	3,63	4,7	5,57	5,8
75				3,06	2,3	3,65	3,6	5,18	5,6	7,82	6,8
90				3,68	2,8	4,99	4,3	7,35	6,7	11,01	8,2
110		4,79		5,51	2,7	5,94	4,2	8,98	6,6	13,50	8,1
125		5,51		7,04	3,1	7,70	4,8	11,44	7,4	17,25	9,2
140					3,5	9,67	5,4	14,39	8,3	21,32	10,3
160		8,46		11,46	4,0	12,55	6,2	18,86	9,5	27,65	11,8
180				14,67	4,4	15,65	6,9	23,45			13,3
200		13,20		17,48	4,9	18,98	7,7	28,70	11,9	43,11	14,7
225					5,5	23,73					16,6
250		18,39		26,88	6,2	30,07	9,6	44,78	14,8	66,79	18,4
315		26,82		42,87	7,7	46,68	12,1	70,57	18,7	105,97	23,2

Tabla 3. Dimensiones para tuberías de PVC

- **Tuberías de PE:**

El polietileno (PE) es un material plástico derivado del etileno, que se fabrica como una mezcla de etileno polimerizado, antioxidantes y negro de carbón, que le infiere su característico color negro para protegerlo de la degradación por radiación solar.

TUBOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PE-32) PARA CONDUCCIÓN DE AGUA A PRESIÓN				
Presión	ØNominal	ØInterior	Espesor	m/Bobina
4 ATM	20 mm	17,4 mm	1,3	100*
	20 mm	17 mm	1,5	100
	25 mm	21 mm	2,0	100
	32 mm	28 mm	2,0	100
	40 mm	35 mm	2,4	100
	50 mm	43,6 mm	3,0	100
	63 mm	55 mm	3,8	100
	75 mm	66 mm	4,5	100
	90 mm	79,2 mm	5,4	100
6 ATM	20 mm	16 mm	2,0	100
	25 mm	20,4 mm	2,3	100
	32 mm	26 mm	2,9	100
	40 mm	32,6 mm	3,7	100
	50 mm	40,8 mm	4,6	100
	63 mm	51,4 mm	5,8	100
	75 mm	61,4 mm	6,8	100
	90 mm	73,6 mm	8,2	100
10 ATM	20 mm	14,2 mm	2,8	100
	25 mm	17,8 mm	3,5	100
	32 mm	22,8 mm	4,4	100
	40 mm	28,4 mm	5,5	100
	50 mm	36,2 mm	6,9	100
	63 mm	45,8 mm	8,6	100
	75 mm	54,4 mm	10,3	100
	90 mm	65,4 mm	12,3	100

La tuberías de polietileno se fabrican mediante extrusión del material. Son más flexibles y menos frágiles que las de PVC, aunque en general son más caras.

También las tuberías de PE tienen menor resistencia a la tracción que las de PVC, por lo que para un mismo diámetro nominal y presión, deben tener mayor espesor de pared que su homóloga de PVC.

Existen comercialmente tres tipos de tubería de PE:

- Tuberías de PE de baja densidad (PE32, PEBD ó LPDE), definido por una densidad sin pigmentar ≤ 0,930 kg/m^3. Son las más flexibles de todas por lo que se utilizan principalmente para los ramales portagoteros.
- Tuberías de PE de media densidad (PE50B, PEMD, MDPE), con densidad sin pigmentar entre 0,931 y 0,940 kg/m^3.
- Tuberías de PE de alta densidad (PE50A, PEAD, HDPE), con una densidad sin pigmentar > 0,940 kg/m^3.

La norma UNE que rige este tipo de tubería es la UNE 53367 y UNE 53131. En ella hay que distinguir los siguientes conceptos:

• Diámetro Nominal (*DN*): es el diámetro que teóricamente coincide con el diámetro exterior del tubo
• Presión Nominal (*PN*): que es la presión máxima de trabajo a 20ºC. En este sentido, la norma UNE establece presiones nominales de trabajo de 0.4 MPa (4 bars), 0.6 MPa (6 bars) y de 1.0 MPa (10 bars)
• Espesor Nominal (*e*): que es el espesor de la pared del tubo.

>> Catálogo de Tubos de Polietileno de Baja Densidad para Uso Agrícola

Para los ramales portagoteros se emplean tuberías flexibles de polietileno de baja densidad polimerizado que, como se ha visto, contienen en su composición partes de antioxidantes y negro de carbón (que le infiere su característico color negro), con objeto de proteger a la tubería de la radiación solar y los rigores de la intemperie, dado que estos ramales discurrirán aéreos sobre la superficie del terreno.

Se suministran enrollados en bobinas, como se ve en la figura adjunta, y suelen llevar marcado sobre la superficie de la tubería una referencia que sirve para identificarla con el siguiente formato:

FABRICANTE - PE32 - 16 - 1.2 - 0.6 - 14 - UNE 53131

donde,

FABRICANTE indica el nombre que identifique al fabricante del tubo
PE32 identifica a la clase de material del que está hecho la tubería

16 es el diámetro nominal del tubo que teóricamente coincide con el diámetro exterior, en este caso 16 mm.

1.2 es el espesor de pared del tubo, en este caso 1,2 mm.

0.6 es la presión nominal, o presión máxima de trabajo para la que está diseñado el tubo. En este caso 0.6 MPa (6 bares) de presión. Si el tubo está referenciado siguiendo la UNE 53.367 no incluirá este dato.

14 este número indicará el año de fabricación del tubo (2.014)

UNE 53131 es la norma de referencia empleada para la nomenclatura que identifica al tubo. Las normas UNE que rigen a este tipo de tuberías son la UNE 53.367 y la UNE 53.131.

En la siguiente tabla se adjuntan las dimensiones más comunes para los tubos flexibles de polietileno de baja densidad empleado para los ramales portagoteros de las instalaciones de riego por goteo:

Tabla 5. Tubos de polietileno de baja densidad empleado para ramales de riego por goteo

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor de pared (mm)
12	10	1,0
16	13,6	1,2
18	15,5	1,25
20	17,4	1,3

2.3- Filtros

Uno de los mayores problemas que puede presentarse en los sistemas de riego por goteo son las obturaciones en la salida de los goteros, debido al reducido diámetro del orificio de salida y la escasa velocidad que alcanza el agua ya en la salida del gotero.

Entre los agentes que pueden causar las obturaciones en los goteros están:

- Partículas minerales (arenas, limos, arcilla)
- Partículas orgánicas (como algas, restos vegetales y de animales)
- Precipitados químicos (tales como sales, fertilizantes...)

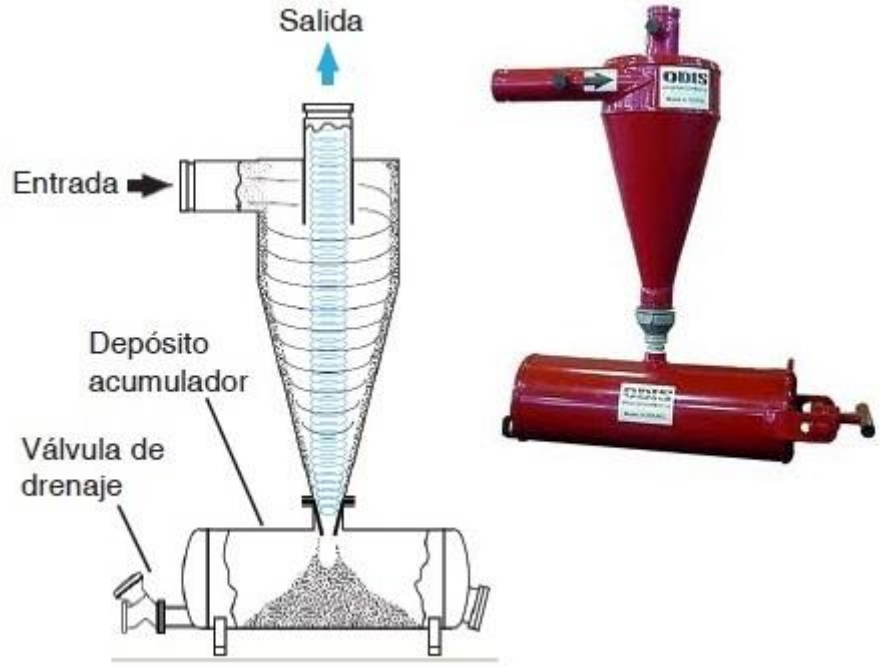
Básicamente, en los sistemas de riegos por goteo se pueden emplear tres tipos de filtros, según su función de filtrado:

- Filtros de hidrociclón, como el de la figura adjunta, empleados para separar las partículas más pesadas que lleva el agua en suspensión, tales como la arena presente en el flujo.
- Filtros de arena, para retener las partículas de arcilla y materia orgánica presentes.
- Filtros de malla y filtros de anillas (o disco), muy empleados sobretodo para flujos de agua procedente de pozos.

- Filtros de hidrociclón:

Este filtro permite la retención de partículas con peso específico superior al agua, como la arena, por efecto de la fuerza centrífuga que se ejerce sobre el flujo que penetra en el filtro.

La eficiencia de este tipo de filtros permite retener partículas presentes en el flujo de un tamaño mayor a 74 micras (200 mesh aprox.) y densidad superior a 1,5 gr/cm^3.



Consta de un cuerpo superior cilíndrico por donde se sitúan los orificios de entrada y salida del filtro, y otro cuerpo inferior con forma cónica.

La corriente de agua entra en el filtro tangencialmente, lo que provoca que se genere un vórtice, llamado torbellino principal, que va descendiendo por el cuerpo del filtro.

La fuerza tangencial o fuerza centrífuga ligada al vórtice lanza las partículas contra las paredes del filtro, las cuales quedan retenidas y posteriormente por gravedad van descendiendo hasta un depósito inferior donde se van acumulando los sedimentos.

El flujo de agua cuando alcanza el vértice inferior del cuerpo cónico del filtro, genera otro torbellino secundario, esta vez en dirección ascendente, que gira en el mismo sentido que el primario hasta alcanzar el cuerpo cilíndrico superior del filtro, por donde sale por el conducto de salida.

Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros son del orden de 3 a 7 m.c.a. dependiendo del caudal de agua que circule por el filtro.

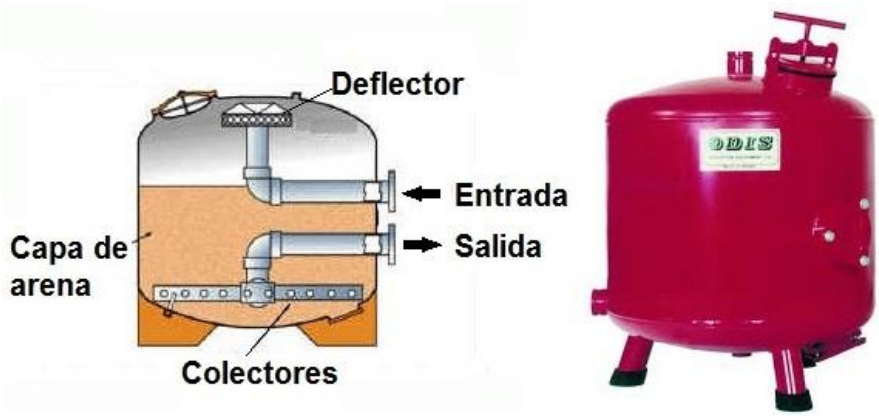
Por otro lado, como las partículas retenidas se van acumulando en un depósito inferior, no interfiriendo en el flujo, la pérdida de carga en este tipo de filtro se mantiene constante, a diferencia de otros tipos donde las pérdidas de carga aumentan conforme crece el volumen de los sedimentos retenidos.

Es recomendable, no obstante, instalar en serie con el hidrociclón un filtro de malla como medida de seguridad, dado que hasta que el hidrociclón no alcanza el régimen de trabajo puede dejar pasar algunas partículas.

>> Catálogo de Filtros Hidrociclón

- **Filtros de arena:**

Los filtros de arena consisten en tanques metálicos o de poliéster que contienen una capa de arena en su interior de un espesor no inferior a los 50 cm.



El agua entra al filtro por la tubuladura superior que se prolonga por el interior del tanque hasta terminar en un deflector que hace que el chorro de agua no incida directamente sobre la capa de arena y la remueva.

La salida del agua ya filtrada se realiza por la tubuladura inferior del tanque. Dicha tubería se prolonga por el interior del tanque en unos colectores perforados y protegidos por una especia de malla que evita que el flujo de agua en su salida arrastre la arena hacia afuera.

El tanque dispone de bocas para carga y descarga de la arena, y de un purgador para eliminar el aire que arrastre el flujo.

El tipo de arena más utilizada es la arena silícea, que ofrece buena resistencia a la rotura del grano de modo que no exista riesgo que se desintegre con el uso, además de ofrecer también una aceptable resistencia al ataque de ácidos.

Por otro lado, las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros sí depende del grado de limpieza que presente el material filtrante, en este caso, la capa de arena.

Así, mientras que en un filtro con la arena limpia su pérdida de carga puede estar del orden de 1 a 2 m.c.a., cuando la arena se colmata de sedimentos el valor de la pérdida de carga que sufre el flujo de agua al paso por el filtro puede aumentar hasta los 4 ó 6 m.c.a.

Es por ello, que es necesario realizar una labor de mantenimiento si se utiliza este tipo de filtro, consistente básicamente en realizar un lavado periódico de la arena filtrante.

Esta limpieza se realiza con un contra lavado, es decir, invirtiendo el sentido de circulación del agua, para lo cual, las tubuladuras de entrada y salida deberán disponer de las derivaciones necesarias de modo que pueda llevarse a cabo la circulación en dirección contraria del flujo de agua para la limpieza, además de para poder eliminar el agua sucia procedente del contra lavado.

- **Filtros de malla:**

Los filtros de malla constan de una carcasa exterior en cuyo interior se sitúan uno o varios cilindros concéntricos de malla, que son los elementos filtrantes.

El entramado de la malla puede ser de nylon, poliéster, pero preferentemente se utilizan mallas de acero inoxidable.

Al funcionar este tipo de filtros por retención superficial de las impurezas, éstas quedan retenidas entre el entramado de la malla, por lo que los filtros de malla llegan a su colmado mucho más rápidamente, que hace que sea necesario realizar una limpieza periódica de estos filtros.

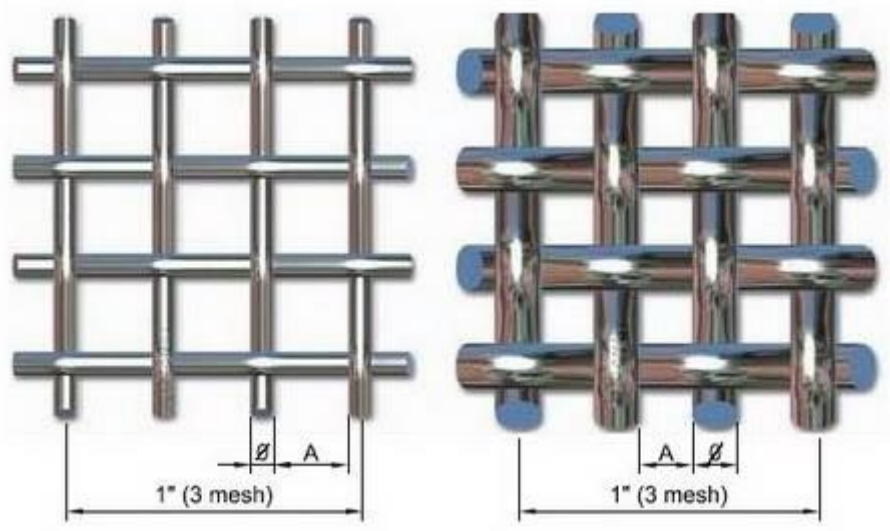
Por ello, existen filtros de malla con sistema de lavado manual, semiautomático o automático. En aquellos filtros que tienen lavado automático, éste se realiza generalmente con una boquilla que se desplaza por la malla y que succiona los sedimentos depositados en su superficie.

No se recomienda utilizar este tipo de filtro en aguas muy sucias, o que contenga algas en suspensión.

Como norma general, se suelen emplear los filtros de malla como filtro secundario que se sitúan después de hidrociclones (cuando el agua sea subterránea) o de filtros de arena (porque el agua contenga gran cantidad de materias orgánicas, como las aguas superficiales extraídas de embalses y lagos).

En caso de disponer la instalación de riego de un sistema de inyección de fertilizantes (fertirrigación), el filtro de malla se debe situar después del equipo de dosificación para impedir que pase fertilizante no disuelto a través del filtro.

Toda malla filtrante queda caracterizada por el número de aperturas por pulgada lineal, que se denomina número de *mesh* o número de mallas, que va a definir su capacidad de filtrado.



Decir también que el grosor de los hilos de una malla, para un mismo número de mesh, puede ser distinto, según sea una malla de plástico o con los hilos de acero inoxidable.

En este caso, los hilos de una malla de acero inoxidable son más finos que los de plástico, por lo que el hueco que queda libre en las mallas de acero son mayores que los orificios de las mallas de plástico.

El área efectiva de una malla (A_e) se define como el área neta de su orificio, y se obtiene multiplicando su área total (A) por el porcentaje de hueco (*%*) de la malla, es decir,

$A_e = \%porcentaje\ de\ hueco \cdot A$

Como buena práctica se recomienda emplear mallas con tamaño de hueco de alrededor *1/7* el tamaño del orificio de salida del gotero que se emplee en la instalación.

En general no es recomendable emplear mallas con un tamaño inferior a *200 mesh*, dado que podrían dar problemas por riesgo de estar obstruyéndose continuamente.

En la siguiente tabla se indica la relación entre el número de mesh y el tamaño del hueco para mallas de acero inoxidable.

Tabla 6. Relación entre Nº. de Mesh y Hueco en Mallas de Acero Inoxidable

Nº. mesh	Tamaño de hueco (en micras)
20	850
60	250
80	180
100	150
120	130
150	106
170	90
200	75
250	63

En esta otra tabla se indica la correspondencia del entramado de la malla, según los distintos criterios para designación de mallas existentes.

Tabla 7. Correspondencia entre Mallas

ISO R 565	Norma ASTM E 11-81	Serie Tyler

Separación entre alambre (A) mm	Designación Nº.	Separación entre alambre (A) mm	Diámetro de alambre (Ø) mm	Porcentaje de hueco %	Desig. Mesh	Separación entre alambre (A) mm
5,6	31/2	5,6	1,680	59,17	31/2	5,6
4	5	4,0	1,370	55,48	5	4,0
2,8	7	2,8	1,100	51,55	7	2,8
2	10	2,0	0,900	47,56	10	2,0
1,4	14	1,4	0,725	43,40	12	1,4
1,0	18	1,0	0,580	40,06	16	1,0
0,710	25	0,710	0,450	37,46	24	0,710
0,500	35	0,500	0,340	35,43	32	0,500
0,355	45	0,355	0,247	34,77	42	0,355
0,250	60	0,250	0,180	33,80	60	0,250
0,180	80	0,180	0,131	33,50	80	0,180
0,125	120	0,125	0,091	33,49	115	0,125
0,090	170	0,090	0,064	34,15	170	0,090
0,063	230	0,063	0,044	34,67	250	0,063

La pérdida de carga que sufre el flujo de agua al paso por un filtro de malla se sitúa entre 1 a 3 m.c.a. (metros de columna de agua) cuando éstos están limpios. En todo caso, la pérdida de carga que presenta cualquier filtro es un dato que debe ser suministrado por el fabricante.

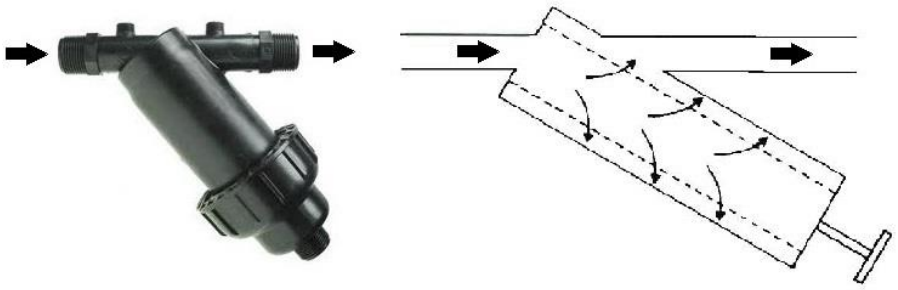
Pero si se colman y no se limpian regularmente, la pérdida de carga puede llegar hasta los 5 ó 7 m.c.a., de ahí la importancia de realizar una limpieza periódica de la superficie de la malla en estos filtros.

En este sentido, y para evitar la obstrucción de los goteros se adjunta la siguiente tabla donde se indican las características de la malla que se recomienda emplear en función de las dimensiones del orificio de salida del gotero:

Tabla 8. Malla de acero recomendada según diámetro del emisor

Diámetro salida del gotero (mm)	Características de la malla	
	Tamaño máximo de hueco (µm)	Nº de mesh
1,50	214	65
1,25	178	80
1,00	143	115
0,90	128	115
0,80	114	150
0,70	100	170
0,50	86	200
0,40	71	250

El caudal a tratar por un filtro de malla dependerá de la calidad del agua, el área neta del elemento filtrante y la perdida de carga admisible.



Para calcular la superficie filtrante (*S*) necesaria, es decir, el tamaño y el número de filtros que se deben instalar, se aplica la siguiente formulación:

$S > 1{,}2 \cdot Q_e / Q_t$

Expresión anterior que proporcionará la superficie mínima filtrante (*S*) que sería necesaria instalar, y donde los anteriores parámetros que aparecen en la expresión son:

Q_e es el caudal de agua que entra por el filtro (que es un dato conocido propio de la instalación), y

Q_t es el caudal máximo que es posible atravesar por el filtro.

Para calcular Q_t, se parte de la Tabla 8 anterior, donde a partir del tamaño del orificio de los goteros instalados se puede obtener el tamaño de malla (en micras o en mesh) necesario.

Con el tamaño de malla y la calidad de agua que se tenga en la instalación se utiliza la siguiente tabla 9, de donde se obtiene la velocidad real del agua a su paso por la malla.

Tabla 9. Velocidad real recomendada en filtros de malla, según orificio de malla y calidad de agua

Tamaño del orificio de la malla (micras, µm)	Clase de agua	Velocidad real del agua, v (m/s)
300 a 125	Limpia	0,4 - 0,9
300 a 125	Con algas	0,4 - 0,6
125 a 75	Cualquiera	0,4 - 0,6

Por último, con el dato obtenido de la tabla anterior para la velocidad real del agua a su paso por la malla, se emplea la tabla 10 siguiente de donde se obtiene el caudal máximo (Q_t) que puede circular por el filtro de mallas por unidad de área de filtrado:

Tabla 10. Caudal máximo en filtros de malla según la velocidad del agua

v (m/s)	Q_t (m^3/h) por m^2 del área total
0,4	446
0,6	670
0,9	1004

Una vez obtenido los valores de Q_t y Q_e de la expresión anterior se obtiene la dimensión total del área filtrante (S).

En general, para un filtro de malla fina (50-200 mesh) se recomienda una velocidad de filtración (velocidad de paso del agua a través del orificio de malla) de 0,4 a 0,9 m/seg. En aguas superficiales, generalmente muy cargadas de algas, no conviene sobrepasar la velocidad de 0,6 m/seg.

- **Filtros de anilla o disco:**

Los filtros de disco, también llamados de anillas, unen las ventajas de los filtros de arena y de malla.

Estos filtros, como los filtros de arena, poseen un bajo volumen de filtrado, con gran rendimiento en la separación de sólidos en suspensión, gracias al gran número de capas filtrantes.

Filtros de Disco

--

Catálogos de productos

Y por otro lado, como ocurre en el caso de los filtros de malla, con los filtros de discos se puede seleccionar el calibre de las partículas a retener.

Los filtros de discos están formados por un conjunto de anillas ranuradas que se montan a presión dentro de la carcasa del filtro. El grado de filtrado dependerá del número de ranuras existentes en las anillas.

Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros, si se mantienen limpios, es de 1 a 3 m.c.a. No obstante, este dato debe suministrarlo el fabricante del filtro.

Pero para mantener la pérdida de carga del filtro en el rango anterior, se debe realizar un mínimo de mantenimiento del filtro que garantizará su buen funcionamiento.

La limpieza de estos filtros es muy sencilla, y se realiza con sólo aplicar un chorro de agua a las anillas del interior de la carcasa.

El calibre de filtrado de los filtros de disco se indican por un código de colores, de manera que según el color que tenga la anilla le corresponderá un Nº de mesh, según la siguiente tabla:

Tabla 11. Código de colores para filtros de anilla

Color	Mesh	Micras (µm)	Utilización
Oliva	30	500	Aspersión, filtración gruesa
Naranja	40	400	Aspersión, filtración gruesa
Amarillo	50	300	Aspersión, difusión, filtración semigruesa
Celeste	75	200	Difusión, microaspersión, filtración media
Gris	85	175	Microaspersión, filtración media

Verde	100	150	Microaspersión, filtración media fina
Azul	120	125	Goteo, filtración media fina
Rojo	150	100	Goteo, filtración fina
Marrón	200	75	Cinta, goteros, filtración fina
Negro	300	50	Filtración muy fina
Verde claro	750	20	Tratamientos primarios del agua
Rosa	1500	10	Tratamientos de agua, filtración ultrafina
Verde mar	3000	5	Aguas potables, filtración ultrafina

2.4- Equipo de Fertirrigación

La fertirrigación es una técnica que permite aprovechar el sistema de riego por goteo para aplicar simultáneamente con el agua fertilizantes que van disueltos en la corriente.

Ello permite conseguir un ahorro en fertilizantes, dado que agua y fertilizante se aplican localizados en la zona de las raíces de la planta, y una mejor asimilación debido al elevado contenido de humedad del suelo que permite la disolución del abono, además de rapidez de actuación y economía para la distribución del abono.

Por otro lado, el equipo de fertirrigación, además de para fertilizantes y abonos, puede ser empleado para inyectar herbicidas, funguicidas e insecticidas.

Como inconveniente principal de este método de abonar es el riesgo que existe de taponamiento de la salida de los goteros, que puede ser causado por una disolución insuficiente del fertilizante en la corriente de agua, o porque exista incompatibilidad entre distintos fertilizantes utilizados en el mismo sistema o con otros productos que se apliquen (herbicidas, insecticidas...).

La siguiente tabla muestra la compatibilidad entre los fertilizantes más utilizados en fertirrigación:

Tabla 12. Compatibilidad entre fertilizantes

	Nitrato amónico	Sulfato amónico	Solución nitrogenada	Urea	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Fosfato monoamónico o diamónico	Ácido fosfórico	Sulfato potásico	Cloruro potásico
Nitrato amónico	-	C	X	X	I	X	X	X	C	C
Sulfato amónico	C	-	C	X	I	C	I	I	C	C
Solución nitrogenada	X	X	-	X	X	X	X	X	C	C
Urea	X	X	X	-	X	X	X	X	C	C
Nitrato cálcico	I	I	X	X	-	X	I	I	I	C
Nitrato potásico	C	C	C	X	C	-	C	C	C	C
Fosfato monoamónico o diamónico	X	I	X	X	I	C	-	C	C	C
Ácido fosfórico	X	I	X	X	I	C	C	-	C	C
Sulfato potásico	C	C	C	C	I	C	C	C	-	C
Cloruro potásico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-

donde,

C, indica compatible; se pueden mezclar

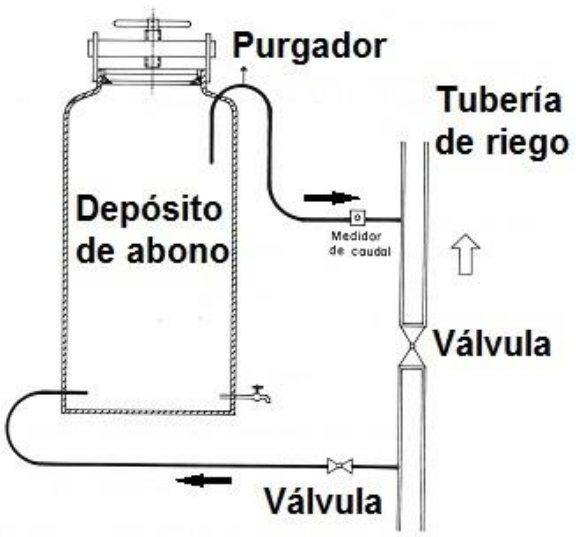
I, indica incompatible; NO se pueden mezclar

X, se pueden mezclar en el momento de su empleo.

A continuación, se describirán someramente los dos sistemas de fertirrigación más comúnmente empleados, los cuales son los siguientes:

- **Tanque de abono:**

El tanque de abono en fertirrigación es un depósito de una capacidad de 20 a 200 litros, hermético y que está conectado en paralelo a la red de riego.



Sobre el tanque se realizan dos tubuladuras, una de entrada y otra de salida que se conectan con la red de riego en dos puntos próximos.

Entre los puntos donde se conecta el tanque a la tubería de riego se deberá instalar una válvula, la cual permitirá crear una pequeña diferencia de presión con objeto de hacer pasar una parte del flujo de agua de la tubería de riego por el tanque de abono.

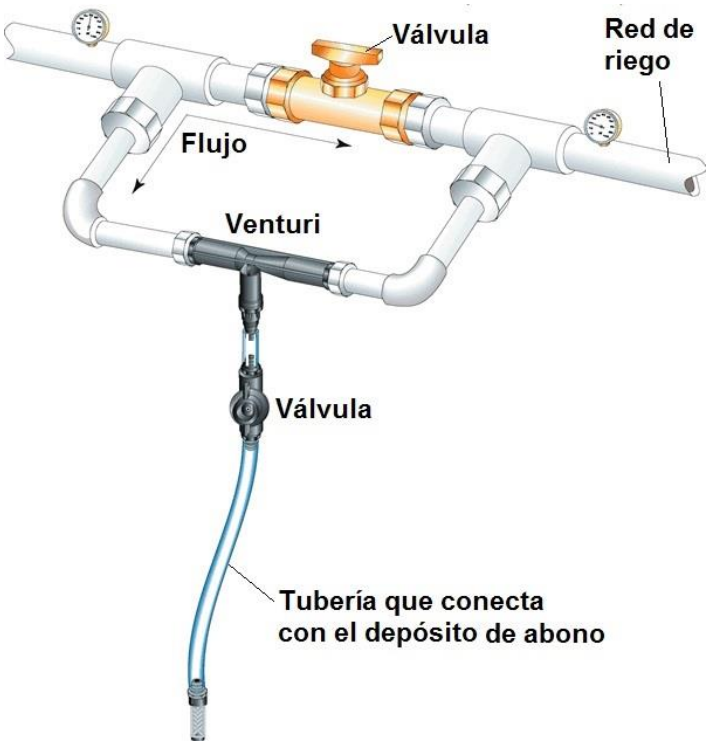
Los tanques deberán ir provistos de una llave inferior para su vaciado, e incorporar un purgador en la parte alta para eliminar el aire que se vaya acumulando.

Es un sistema muy popular, que emplea la propia presión que tiene la instalación de riego para el funcionamiento del tanque. Además el costo de instalación de este sistema es barato.

No obstante, con este sistema no se mantiene constante la concentración de abono a lo largo de un mismo riego, y además, cada vez que termine un periodo de riego se debe reponer la carga de abono en el tanque antes de empezar con el siguiente.

- **Inyector venturi:**

Un inyector venturi consiste en un tubo con un estrechamiento que, gracias al efecto venturi, crea una disminución de presión de la corriente en ese punto y a la vez un aumento de la velocidad del flujo.



El otro extremo del venturi estará conectado al depósito de abono que debe permanecer siempre a la presión atmosférica, es decir, en este caso el tanque no debe estar herméticamente cerrado para evitar que se forme el vacío.

La depresión que origina el venturi provoca una succión que permite extraer el líquido del tanque de abonado e incorporarlo a la red.

El inyector venturi se colocará en paralelo con la tubería de riego que incorporará también una válvula, con objeto de crear una diferencia de presión que haga que parte del flujo de agua pase por el circuito del inyector venturi.

Por otra parte, en el circuito inyector se instalará otra válvula para regular el paso del líquido succionado del depósito y por tanto, de la cantidad de abono inyectado a la red.

La concentración de abono que se obtiene con este sistema es constante ya que solamente depende de la concentración del depósito.

No obstante, cuando se realice el abonado empleando este sistema se deberá controlar el proceso, porque una vez vaciado el depósito, si no se cierra la válvula del venturi, el sistema continuará inyectando aire a la instalación de riego. Por lo tanto, si se utiliza el venturi habrá que cerrar la válvula del inyector una vez que se vacíe el depósito de abono.

2.5- Válvulas

Como elemento de regulación y control del flujo de agua, las válvulas se intercalan en la red de conducción, cumpliendo con distintas funcionalidad según el tipo de válvula que se trate.

- *Válvula de pie*: es el primer elemento de la instalación. Colocada al comienzo de la línea de aspiración de la bomba, abre el paso cuando la bomba comienza a aspirar el agua del fondo del depósito o pozo. Al parar la bomba, la válvula de pie evita que se descargue la tubería de aspiración, que causaría el descebado de la bomba.
- *Válvula de retención*: si por fallo del suministro eléctrico o por fallo del motor se detiene la bomba de una manera brusca o instantánea, se genera una sobrepresión en el flujo de agua que se transmite en forma de

onda de choque a través del fluido dentro de la tubería, denominado Golpe de Ariete, que puede alcanzar varias veces la presión nominal de trabajo.

En caso que esta onda de sobrepresión pueda alcanzar a la bomba de agua podría ocasionar graves daños en ella, por lo que en la tubería de impulsión, a la salida de la bomba, se suele colocar una válvula de retención para su protección contra golpes de ariete.

La válvula de retención tiene un funcionamiento automático, dejando pasar el agua en un sentido de la tubería y cerrando el paso cuando cesa el flujo, por ejemplo cuando se detiene la bomba, evitando el flujo en sentido contrario.

Es recomendable en instalaciones de riego con presiones de trabajo elevadas (de más de 20 m.c.a.). La válvula de pie es en sí misma un tipo de válvula de retención.

- *Válvula de regulación o llave de paso*: es un tipo de válvula que permite estrangular o interrumpir el paso del agua.
- *Válvula de seguridad*: también llamada válvula de alivio de presiones. Es un dispositivo que permite la salida automática de un cierto caudal, con el fin de evitar un aumento excesivo de la presión en la red de conducciones.
- *Válvula de descarga o de drenaje*: en los extremos de la instalación se suelen colocar válvulas de drenaje. Este tipo de válvula permite desaguar las tuberías una vez que el riego haya finalizado, con el objeto de evitar que en el interior de la instalación se desarrollen microorganismos o se produzcan precipitados químicos.

También se utilizan para descargar el agua por los extremos durante las fases de lavado de la instalación de riego.

Se recomienda que cada seis meses se realice un lavado de las tuberías bombeando agua y dejando abiertas las válvulas de descarga de los extremos, con objeto de permitir la salida de los sedimentos que se hayan podido acumular en el interior.

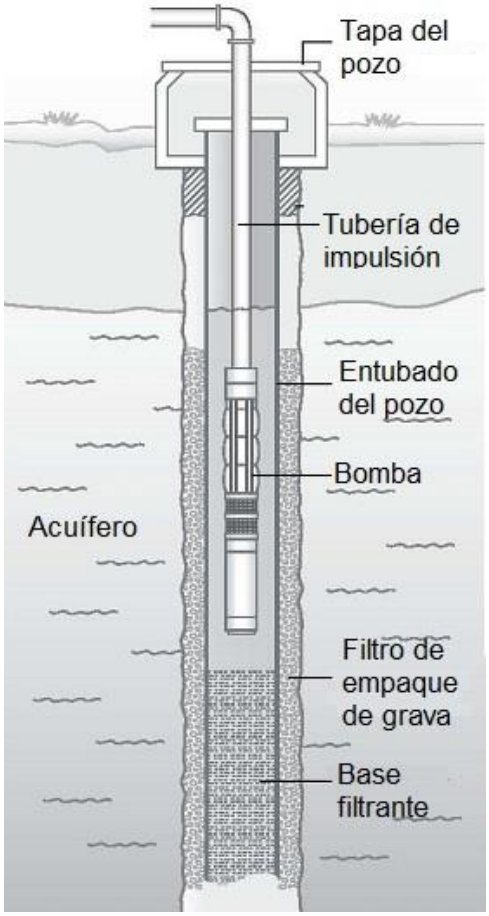
Realizar esta labor es muy importante, dado que con ello se ayuda a evitar que se produzcan atascos en los goteros.

En la siguiente fotografía se puede apreciar a una válvula de descarga colocada en uno de los extremos de una de las tuberías de distribución que emerge a la superficie. Consta de un tapón roscado que permite

quitarse para abrir el extremo de la tubería y permitir su drenaje, durante los periodos de lavado de la instalación.

2.6- Equipo de bombeo

Para pozos con aguas profundas resulta más eficaz el empleo de bombas sumergibles. En este caso será necesario conocer el descenso máximo que experimente el nivel de agua del pozo durante el bombeo, para evitar que éste pueda descender por debajo de la entrada a la bomba.



En bombas sumergibles, el riesgo de cavitación resulta muy bajo. No obstante se recomienda comprobar el NPSH de la bomba en su punto de funcionamiento. El valor de la inmersión mínima, expresado en metros, que deberá tener la bomba será aproximadamente de: NPSH (m) - 10 (m).

Toda bomba deberá trabajar cerca de su máximo rendimiento, el cual se alcanza sólo en un estrecho margen de caudal, que será el criterio que se emplee para la selección del tipo de bomba. Esta información aparecerá en las curvas de funcionamiento de la bomba que deberá ser suministrada por el fabricante en sus catálogos técnicos.

Por lo tanto, el punto de funcionamiento de la bomba será aquel cuyo caudal que suministre esté lo más próximo posible a su punto de rendimiento óptimo, o bien ligeramente a la derecha de éste.

Mediante la siguiente expresión se puede calcular el consumo energético (en *kWh*) de la bomba, en función de su rendimiento (η), del caudal suministrado (Q) y de la altura o presión de descarga (H):

$KWh = (Q \cdot H)/(367 \cdot \eta)$

donde,

Q es el caudal suministrado por la bomba, en m^3/h

H es la altura de impulsión, en *m*
η es el rendimiento de la bomba.

Otro aspecto que influye en el rendimiento de una bomba de tipo sumergible es su diámetro, es decir, lo ancha que resulte ser. En general, cuanto mayor sea el diámetro de una bomba sumergible mejor será su rendimiento, por lo que en la mayoría de las veces, se tenderá a elegir modelos de bombas que sean lo más anchas posible.

Sin embargo, la anchura máxima de una bomba quedará limitada por el diámetro del pozo donde se sumerja. En este sentido, el rendimiento de una bomba sumergible estará influenciado de manera importante por el espacio libre que queda entre la pared del pozo y la carcasa de la bomba.

Esto es así, porque en un pozo estrecho, donde la bomba se encuentra muy justa de espacio, quedando poca distancia entre las paredes del pozo y la camisa de la bomba, se producirán pérdidas de carga importantes por fricción del agua debido a las turbulencias que ocurren en el hueco pequeño que queda entre la bomba y las paredes del pozo, que hará que el rendimiento de la bomba caiga.

Bombas Sumergibles

--

Catálogo de productos

En general, se recomienda que se instale la bomba lo más centrada posible en el hueco del pozo para que la bomba quede rodeada en todo su perímetro por agua, y que exista una distancia lateral mínima entre el perímetro de la bomba y la pared interior del pozo.

Además, otro motivo para mantener un espacio de agua suficiente que rodee a la camisa de la bomba es la de asegurar una refrigeración eficiente del motor de la bomba que absorba el calor que se va generando.

En este sentido, la siguiente formulación permite obtener el espacio mínimo recomendado entre la pared interior del pozo y la camisa de la bomba:

$v = Q \cdot 354 / (D^2 - d^2)$

donde,

v (m/s) es la velocidad del agua en el hueco existente alrededor de la bomba. Para evitar que se produzcan grandes pérdidas de carga por fricción se debe limitar a *3 m/s*.

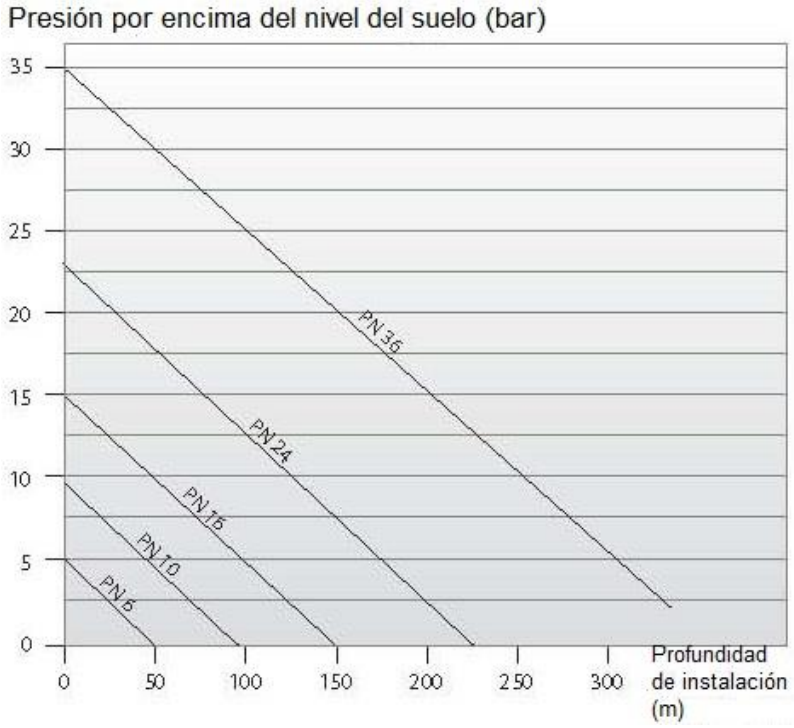
Q (m^3/h) es el caudal que bombea la bomba en su punto de diseño.

D (mm) es el diámetro interno de las paredes del pozo.

d (mm) es el diámetro exterior de la camisa de la bomba.

- Tubería de impulsión de la bomba:

En otro orden de cosas, la elección de la tubería vertical de impulsión de la bomba dependerá de varios factores, como puedan ser, la presión de descarga y profundidad de la instalación, la agresividad del agua, las pérdidas de carga por fricción, etc.



La figura adjunta ayuda a seleccionar la presión requerida para la tubería de impulsión en función de la profundidad de la instalación de la bomba y la presión de descarga.

Para la agresividad de la mayoría de las aguas subterráneas, el empleo del acero inoxidable para la tubería ascendente resulta suficiente, o incluso el acero galvanizado o recubierto, una opción más barata, puede ser aceptable. Si la agresividad del agua fuera importante se recomienda instalar ánodos de zinc reemplazables para proteger el motor y la bomba.

Como sustitución de las tuberías de acero inoxidable, mucho más caras, se emplean mangueras flexibles para las tuberías verticales de impulsión de las bombas sumergibles, como las mangueras Wellmaster.

Éstas son mangueras fabricadas con una chaqueta de poliéster de alta resistencia, tejidas circularmente sin costuras y extrusionada interior y exteriormente, mediante poliuretano elastómero o caucho sintético.

Debido al diseño de este tipo de manguera, el diámetro se expandirá ligeramente cuando ésta se encuentre bajo presión y por lo tanto reducirá la pérdida de carga por fricción al aumentar su diámetro de paso. Al mismo tiempo, evita la acumulación de cal en la superficie de la manguera, ya que el cambio constante del diámetro fuerza el desprendimiento de la cal.

- Accionamiento eléctrico:

Las bombas sumergibles empleadas para riegos son de accionamiento eléctrico. Para ello, será necesario tender un cable desde la boca del pozo hasta el cable que conecta con el motor sumergible instalado en la bomba.

En general, los cables de caída se constituyen de cuatro hilos, uno de ellos será el conductor de tierra o de protección, que irán protegidos mediante una envolvente de aislamiento en etileno propileno (EPR), válido para aguas limpias de pozo.

Aunque, durante el arranque de la bomba se produce un pico de corriente, el tamaño del cable no se determina para esta intensidad de arranque, dado que el motor arranca en menos de 1/10 segundos.

Para su dimensionado siempre se usa la intensidad de corriente que circula por el cable a plena carga de la bomba. Este valor suele venir indicado en la placa de características de la bomba.

En la siguiente tabla se indican valores típicos para la intensidad máxima que pueden soportar los cables de caída que alimentan a bombas sumergibles:

Tabla 13. Valores típicos de intensidad máx. para cables de caída sumergibles

Sección del cable (mm^2)	Intensidad máxima (A)
1,5	18,5
2,5	25

4	34
6	43
10	60
16	80
25	101
35	126
50	153
70	196
95	238
120	276
150	319
185	364
240	430
300	497

Por último, la longitud máxima para los cables sumergibles será tal que la caída de tensión máxima que se produzca no excedan del *3%*.

Asimismo, bajo ninguna circunstancia esta caída de tensión que se produce al final del cable, deberá ser tal que se obtenga una tensión en los terminales de alimentación del motor inferior a su valor de tensión mínima, que suele ser la tensión nominal menos el 10%.

Las siguientes expresiones proporcionan la longitud máxima del cable de caída de tal manera que no se supere una caída de tensión máxima del 3%:

Para bombas monofásicas, la longitud máxima (*L*) del cable de caída que da alimentación a la bomba vendrá dado por la siguiente formulación:

$$L = (\Delta U \cdot K \cdot S \cdot V)/2 \cdot P$$

Por otro lado, para bombas trifásicas, la longitud máxima (*L*) del cable de caída vendrá dado por esta otra formulación:

$$L = (\Delta U \cdot K \cdot S \cdot V)/P$$

donde,

ΔU es la caída de tensión (en voltios, *V*) máxima permitida. Para el caso de estar operando con una bomba eléctrica a 230V, la caída de tensión límite del 3% equivale a, ***ΔU= 6,9V***.

K es la conductividad del cable (*56 Cu ; 35 Al*).

S es la sección del cable que se esté empleando para alimentar a la bomba (*mm^2*).

V es la tensión de trabajo de la bomba (en voltios, *V*), en este caso, *V = 230V*.

P es la potencia en carga nominal de la bomba (en watios, *W*).

3- Datos de partida

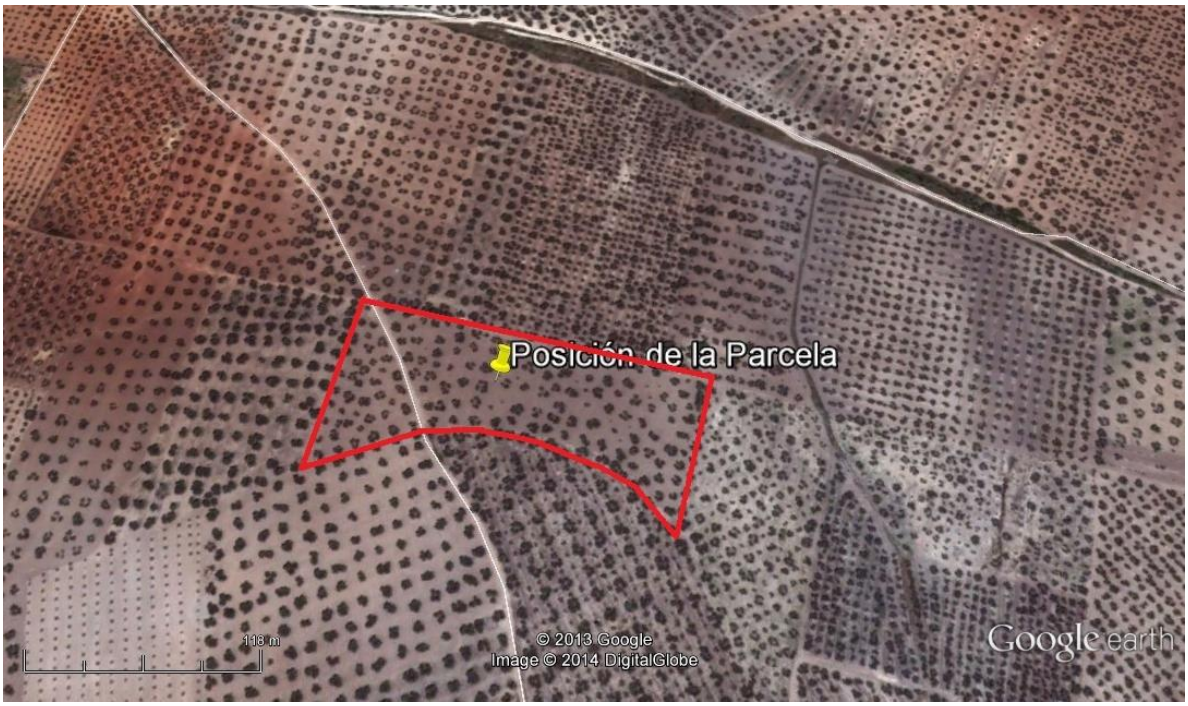
3.1- Emplazamiento de la parcela de cultivo

Como ya se indicó anteriormente, se pretende en este tutorial diseñar una instalación de riego por goteo para una parcela de terreno dedicada al cultivo del olivo.

Dicha parcela, donde se pretende montar la instalación de riego, se encuentra emplazada en el término municipal de Arahal (Sevilla, España), según lo definen las siguientes coordenadas DMS (Grados, Minutos, Segundos):

- Latitud: 37° 14' 33.35" N
- Longitud: 5° 28' 33.83" O
- Elevación de la cota de terreno de la parcela sobre el nivel del mar: 124 m.

La parcela de terreno, según se muestra en la fotografía aérea adjunta (cortesía de *Google earth*), es de topografía prácticamente plana y de perímetro sensiblemente irregular.



La distribución de las plantas de olivo en el terreno de la parcela se puede también apreciar en la anterior foto aérea de la misma.

El área que ocupa la parcela es de *14.014 m^2* (1,40 Ha. aprox.), y dispone de aproximadamente *250* plantas de olivos.

3.2- Estimación de las necesidades de agua

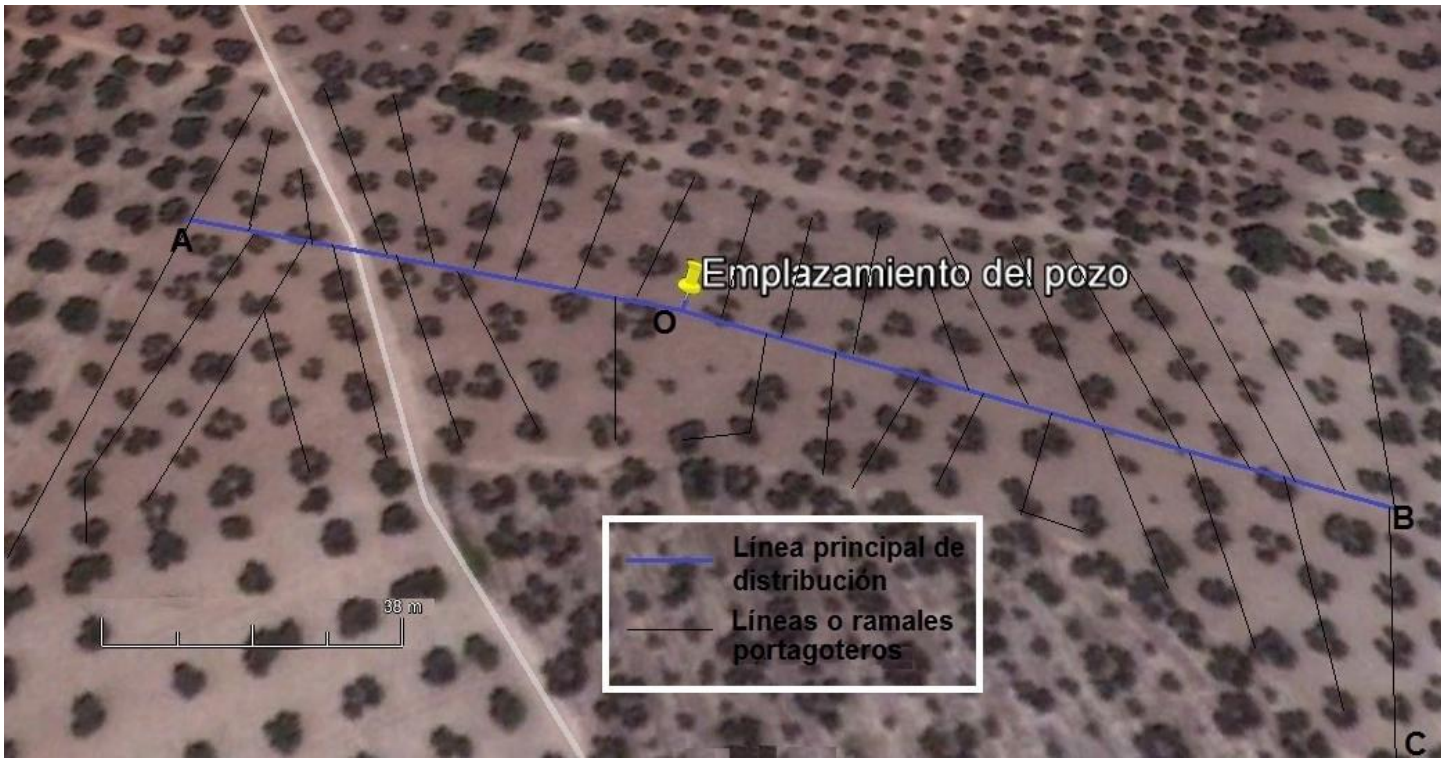
Como punto de partida, se ha establecido como necesidades hídricas para el cultivo de olivar de unos 100 litros/día de media de agua por olivo.

Esto supone unas necesidades totales de agua para toda la parcela (250 olivos) de *25.000 litros de agua diario* (25 m^3/día) concentrados principalmente en los meses de verano (junio, julio, agosto y septiembre), donde las necesidades hídricas serán mayores.

4- Calculo de la instalación de riego

4.1- Pozo de suministro y red de distribución de agua

La parcela cuenta con un pozo de agua ya ejecutado, entubado y cementado, cuyo nivel freático se encuentra a una profundidad de 8 metros respecto a la cota de rasante del terreno, y cuyo emplazamiento dentro de la parcela se muestra en la fotografía aérea adjunta.



Para mejorar la función de filtrado, y evitar la entrada de arena y cieno en el pozo, el pozo dispone de un empaque de grava de unos 8 ó 10 cm alrededor del entubado en toda su profundidad.

Con ello se consigue que el agua que penetre en el pozo proveniente de los acuíferos subterráneos llegue limpia y libre de restos de arenas y otras partículas que quedarán retenidas en la capa de grava que rodea el encofrado del pozo.

La instalación de riego constará de una línea principal de distribución que recorrerá a todo lo largo la parcela en sentido longitudinal y de la cual partirán transversalmente los distintos ramales portagoteros.

Estos ramales de derivación o portagoteros serán los encargados de conducir el agua hasta cada planta de olivo, y mediante los emisores que irán clavados en dichos ramales coincidiendo con la posición de cada olivo, verter el agua en el terreno.

Por lo tanto, la instalación de riego partirá de la tubería de impulsión de la bomba, la cual enlazará con la línea principal de distribución que, mediante una derivación en "T", se bifurcará en dos que recorrerá longitudinalmente y enterrada bajo tierra la parcela de extremo a extremo (según dirección este-oeste), como ya se ha indicado y se aprecia en la figura anterior.

Esta línea principal de distribución será mediante tubería enterrada de polietileno de baja densidad para uso agrícola con presión nominal de 10 atmósfera (PN 10) y diámetro nominal de 40 mm (DN 40). Posteriormente, en el apartado siguiente se justificará el valor del diámetro elegido para esta tubería en función del caudal que circula.

La siguiente tabla resume las características de la tubería de la línea principal de distribución que será necesaria para la instalación de riego objeto de este tutorial:

Tabla 14. Tubería de la línea principal en polietileno de baja densidad para uso agrícola

	Tipo	Presión	Diámetro Nominal	Diámetro Interior	Espesor	metros/bobina
	PE-32	10 atm	40 mm	29 mm	5,5 mm	100 metros/bobina

Como se ha dicho, la tubería de la línea pricipal irá enterrada con objeto de proteger el material de las inclemencias atmosféricas y la radiación solar, además de evitar interferir con los trabajos de labor del campo (arado, etc.).

Para enterrar dicha tubería, se abrirá una zanja en el terreno de anchura al menos el diámetro de la tubería más 50 cm. y a una profundidad tal que la generatriz superior de la conducción se sitúe a una profundidad mínima no inferior a 70 cm. de la rasante del terreno, profundidad que cumple sobradamente con los requisitos mínimos indicados en el apartado 2.2.

De la línea principal enterrada partirán los distintos ramales de derivación o portagoteros.

Estos ramales, aunque conectarán enterrados con la línea principal, posteriormente se sacarán a la superficie del terreno para que discurran aéreos por entre las plantas de olivo para hacerles llegar el agua.

Los ramales portagoteros que se elegirán para esta instalación serán tuberías flexibles de polietileno de baja densidad con las siguientes características, que suelen figurar inscritas sobre la superficie del tubo de la siguiente manera:

FABRICANTE - PE32 - 16 - 1.2 - 0.6 - 14 - UNE 53131

donde la anterior nomenclatura significará lo siguiente:

FABRICANTE indicará el nombre del fabricante del tubo
PE32 esta inscripción indica que se trata de tuberías flexibles de polietileno (PE) de baja densidad
16 con este número se indica que se ha elegido portagoteros con diámetro nominal (DN) de 16 mm
1.2 con espesor de pared del tubo de 1,2 mm
0.6 se elegirán portagoteros con una presión nominal de 0,6 MPa (6 bares) de presión.
14 este número indicará el año de fabricación del tubo (2.014)
UNE 53131 es la norma de referencia empleada para la nomenclatura que identifica al tubo. En cada país regirá la normativa correspondiente.

Por último, y enclavados sobre el ramal portagoteros, y tratando que coincidan con la posición de cada olivo, se dispondrán los emisores o goteros por donde se realizará la descarga de agua al olivo.

Para satisfacer las necesidades de riego del olivo expuesta en el apartado 3.2 anterior, bastará con colocar un gotero por olivo, como el que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15. Características del gotero autocompensante seleccionado		
	Caudal de descarga	**Rango de presión de autocompensación**
	8 l/h	5 - 40 m.c.a.

4.2- Dimensionado de tuberías y derivaciones

La elección del diámetro de las distintas tuberías que conforman la instalación de riego deberá realizarse con el objetivo de limitar en lo posible las pérdidas de carga originadas por el rozamiento del flujo de agua con las paredes interiores de la tubería, a la vez que se garantiza que llegue el caudal previsto a todos los emisores que conforman la instalación.

PROGRAMA DE COLABORACIÓN

Colabora en el sostenimiento de esta WEB

[+info]

Como criterio de buena práctica se recomienda que para tuberías de naturaleza termoplásticas, la velocidad que alcance el flujo de agua por el interior de la tubería se encuentre en el rango de *0,5* a *3,5 m/s*.

Velocidades superiores a los *3,5 m/s* darán lugar a problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes interiores que afectarían a la durabilidad de la tubería, mientras que velocidades inferiores a los *0,5 m/s* podrían ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos debida a la escasa velocidad de movimiento del agua.

La expresión que relaciona la velocidad del agua (v) por el interior de la tubería con el caudal (Q) es la siguiente:

$Q = v \cdot A$

donde,

Q es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería;
v es la velocidad del agua en el interior de la tubería;
A es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2/4$), siendo D el diámetro interior de la tubería.

Despejando el valor (v) de la expresión anterior, la velocidad del agua que discurre por el interior de una tubería podrá ser expresada en función del caudal (Q) y del diámetro interior (D) de la tubería, como:

$v = Q/A = (4 \cdot Q)/(\pi \cdot D^2)$

Como ya se ha indicado en el apartado anterior, la instalación se compondrá de una línea principal de distribución enterrada que recorrerá la parcela a lo largo (en dirección este-oeste), de la cual partirán transversalmente los distintos ramales portagoteros que discurrirán sobre la superficie del terreno, y sobre los cuales se anclarán los emisores que descargarán el agua sobre cada planta de olivo.

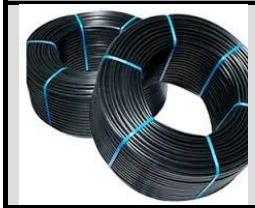
Para los ramales portagoteros es habitual en las instalaciones de riego por goteo, emplear las típicas y ya mencionadas tuberías flexibles de polietileno de baja densidad (en esta caso, *DN16 mm*) fabricadas en color negro característico.

En cada planta de olivo se colocará para su riego 1 gotero del tipo autocompensante con un caudal de descarga de agua de *8 l/h*.

Según se muestran en las fotografías aéreas de la parcela, cada ramal transversal portagoteros dará riego a unas 10 plantas de olivo, como término medio, lo que supone un caudal de flujo por ramal de *80 l/h* *($2{,}2 \cdot 10^{-5}$ m^3/s)*.

Como resumen de características, en la siguiente tabla se indican los valores de diseño para los ramales transversales portagoteros que se han instalado:

Tabla 16. Ramales portagoteros en tubos flexibles de polietileno de baja densidad



Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm.)	Espesor de pared (mm.)	Velocidad del flujo de agua (m/s)
16	13,6	1,2	0,15

Por otro lado, para el diseño de la tubería principal enterrada y el cálculo de su diámetro, se partirá del máximo caudal que se espera que circule por su interior, debido a las necesidades de la instalación:

- Nº. olivos a regar: *250 olivos*
- Caudal de riego por olivo: *8 l/h*
- Caudal total necesario: *2000 l/h (5,6·10^{-4} m^3/s)*

Empleando la expresión anterior indicada en este apartado que proporciona el valor de la velocidad del agua en función del caudal y la sección de la tubería, se obtiene el siguiente resultado para una tubería propuesta de polietileno con DN40 mm:

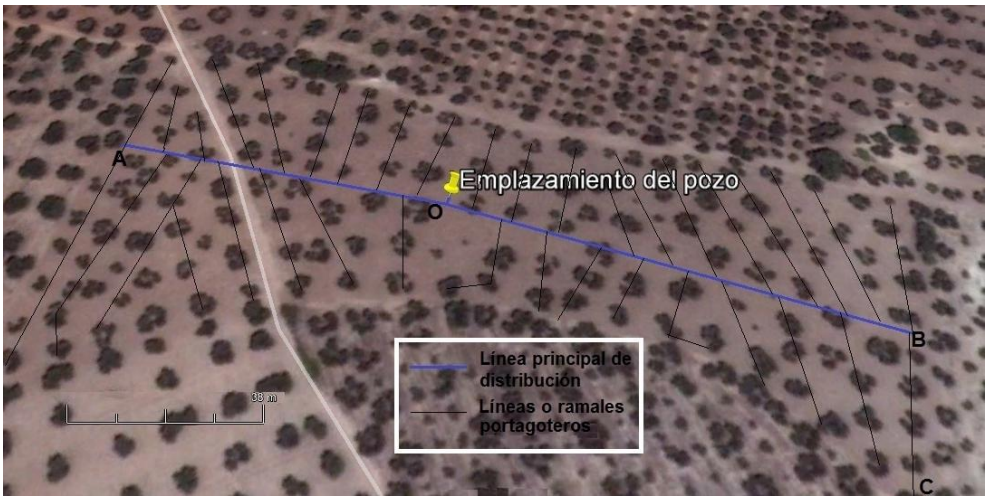
Tabla 17. Tubería de la línea principal enterrada en polietileno de baja densidad

	Tramo	Caudal	Diámetro exterior (DN)	Espesor de pared	Diámetro interior	Velocidad del flujo
	Línea Principal	2000 l/h	40 mm	5,5 mm	29 mm	0,84 m/s

4.3- Pérdidas de carga en la instalación

Una vez definido el diseño de cómo hacer la distribución de la instalación de riego, se realizará una estimación de las pérdidas de carga, también llamado pérdida de presión, con objeto de poder dimensionar correctamente el equipo de bombeo.

Para ello, en primer lugar se deberá identificar el recorrido donde se produzca la mayor pérdida de carga de toda la instalación, dado que este valor va a condicionar las prestaciones que debe ofrecer el grupo de bombeo para poder garantizar el caudal previsto de agua en cada emisario.



Según se aprecia en la fotografía aérea de la parcela ya indicada en el apartado 4.1 anterior, el recorrido formado por los tramos indicados con las letras **OBC** constituye el recorrido donde el flujo de agua sufrirá la mayor pérdida de carga de la instalación.

Una vez identificado el recorrido más desfavorable, a continuación se procederá al cálculo de la pérdida de carga que se produce en dichos tramos de la instalación.

El cálculo de la pérdida de carga se realizará distinguiendo tres tipos, donde cada uno se determinará con un procedimiento de cálculo distinto:

- A) Pérdida de carga producida en los tramos rectos de tubería;

- B) Pérdida de carga producidas en puntos y elementos localizados de la red;

- C) Pérdida de carga producida en los emisarios o goteros.

La pérdida de carga total de la instalación (Δp_{TOTAL}) será la suma de todas ellas: A) + B) + C).

A) Pérdida de carga producida en los tramos rectos de la tubería:

Para el cálculo de la pérdida de carga que se produce en un tramo recto de tubería (Δp) de una longitud considerada "L", se empleará la formulación de *Darcy-Weisbach*, que se expresa de la siguiente manera:

$$\triangle p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

donde,

Δp es el valor de la pérdida de carga expresada en metros de columna de agua (m.c.a.) que se produce en un tramo recto de tubería de longitud L.

L es la longitud del tramo considerado de tubería (*m*)

D es el diámetro interior de la tubería (*m*)

v es la velocidad del agua en el interior de la tubería (*m/s*)

g es la acelaración de la gravedad (*9,81 m/s²*)

f es el es el factor de fricción de Darcy-Weisbach.

La anterior expresión, también puede ser expresada en función del caudal (Q) de agua que circula por la tubería en ese tramo, quedando de la siguiente forma:

$$\Delta p = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

De la anterior expresión todos los parámetros son conocidos, la longitud de la tubería (L), su diámetro (D), el caudal de agua que circula (Q), salvo el factor de fricción (f).

Por lo tanto, sólo faltaría conocer cuál es el valor del factor de fricción (f) en cada tramo recto de tubería para poder aplicar la expresión anterior y calcular la pérdida de carga que se origina en ese tramo.

El factor de fricción (f), es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds (Re) del fluido (en este caso, del agua) y de la rugosidad relativa de la tubería (ε_r)

$f = f(Re, \varepsilon_r)$

Es decir, que para calcular el factor de fricción (f) en un determinado tramo recto de tubería, previamente se deberán calcular los valores del número de Reynolds (Re) para el agua en ese tramo y de la rugosidad relativa (ε_r) que tiene la tubería en ese tramo.

El número de Reynolds viene expresado por la siguiente formulación:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

siendo,

ρ la densidad del fluido, en este caso del agua (*kg/m³*)

v es la velocidad del agua en el interior de la tubería (*m/s*)

D es el diámetro interior de la tubería (*m*)

μ es viscosidad dinámica del agua (*kg/m·s*)

No obstante, el número de Reynolds (*Re*) también puede ser expresado en función de la viscosidad cinemática del fluido ($\vartheta = \mu / \rho$) como,

$$Re = \frac{v \cdot D}{\vartheta}$$

siendo,

v la velocidad del agua en el interior de la tubería (*m/s*)
D el diámetro interior de la tubería (*m*)
ϑ es la viscosidad cinemática del agua (m^2/s)

En la siguiente tabla, se muestran los valores de la densidad, viscosidad absoluta y viscosidad cinemática para el agua a distintas temperaturas.

	Densidad	**Viscosidad absoluta**	**Viscosidad cinemática**
Temperatura	ρ	μ	ϑ
ºC	kg/m^3	$kg/m \cdot s$	m^2/s
0	999,9	$1{,}792 \cdot 10^{-3}$	$1{,}792 \cdot 10^{-6}$
5	1000,0	$1{,}519 \cdot 10^{-3}$	$1{,}519 \cdot 10^{-6}$
10	999,7	$1{,}308 \cdot 10^{-3}$	$1{,}308 \cdot 10^{-6}$
20	998,2	$1{,}005 \cdot 10^{-3}$	$1{,}007 \cdot 10^{-6}$
40	992,2	$0{,}656 \cdot 10^{-3}$	$0{,}661 \cdot 10^{-6}$
60	983.2	$0{,}469 \cdot 10^{-3}$	$0{,}477 \cdot 10^{-6}$
80	971,8	$0{,}357 \cdot 10^{-3}$	$0{,}367 \cdot 10^{-6}$
100	958,4	$0{,}284 \cdot 10^{-3}$	$0{,}296 \cdot 10^{-6}$

Tabla 18. Valores de la viscosidad y densidad del agua

Para el cálculo de una instalación de riego, interesa la viscosidad cinemática del agua a 20 °C, que es *1,007 x 10^{-6} m^2/s*

Por otro lado, la rugosidad relativa de la tubería (ε_r) viene dada en función de la rugosidad absoluta (ε) del material del que está fabricada la tubería y de su diámetro interior (D) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES				
Material	**ε (mm)**		**Material**	**ε (mm)**
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón	0,3-3,0

Tabla 19. Rugosidades absolutas de materiales

En este caso, se utilizarán tuberías de polietileno para toda la instalación, siendo la rugosidad absoluta de este tipo de tuberías de **ε= *0,0015 mm***, según la tabla anterior.

Volviendo al concepto de número de Reynolds (*Re*), éste representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que posee el flujo de agua en la tubería.

Cuando las fuerzas predominantes son las viscosas (ocurre para *Re* con valores *bajos*), el fluido discurre de forma laminar por la tubería y la importancia de la rugosidad de la tubería en la pérdida de carga es menor que las debida al propio comportamiento viscoso del fluido. Por otro lado, en régimen turbulento (*Re grande*), las fuerzas de

inercia predominan sobre las viscosas y la influencia de la rugosidad se hace más patente.

Para el caso del agua, los valores de transición entre régimen laminar y turbulento se encuentra con el número de Reynolds en la franja de *2000 a 4000*. Es decir, en función del valor del número de Reynolds se tiene el siguiente comportamiento del flujo de agua por el interior de la tubería:

- *Re* < 2000: Régimen laminar.
- 2000 < *Re* < 4000: Zona crítica o de transición.
- *Re* > 4000: Régimen turbulento.

Conocer si el flujo que circula por una tubería se encuentra en el régimen laminar o turbulento es importante porque marca la manera de calcular el factor de fricción (*f*).

En efecto, el factor de fricción (*f*) para valores del número de Reynolds por debajo del límite turbulento (*Re < 2000*), es decir, en régimen laminar, se puede calcular aplicando la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

expresión que resulta sencilla de aplicar para calcular el factor de fricción (*f*) conocido el Reynolds (*Re*).

Para la otra situación, es decir, que nos encontremos en régimen turbulento (*Re > 4000*), el cálculo para conocer el factor de fricción (*f*) ya nos es tan inmediato, y depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería. En este caso existen diversas formulaciones que pueden ser utilizadas para el cálculo del factor de fricción:

>> Ecuación de Colebrook-White

Y otras como la ecuación de Barr, la ecuación de Miller o la ecuación de Haaland.

No obstante, afortunadamente además de estas expresiones existen representaciones gráficas y ábacos empíricos que nos permiten calcular cómodamente el factor de fricción (*f*). Uno de ellos es el **Diagrama de Moody** que es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción (*f*) en función del número de Reynolds (*Re*) y de la rugosidad relativa de la tubería (*ε/D*), según se representa en la siguiente figura:

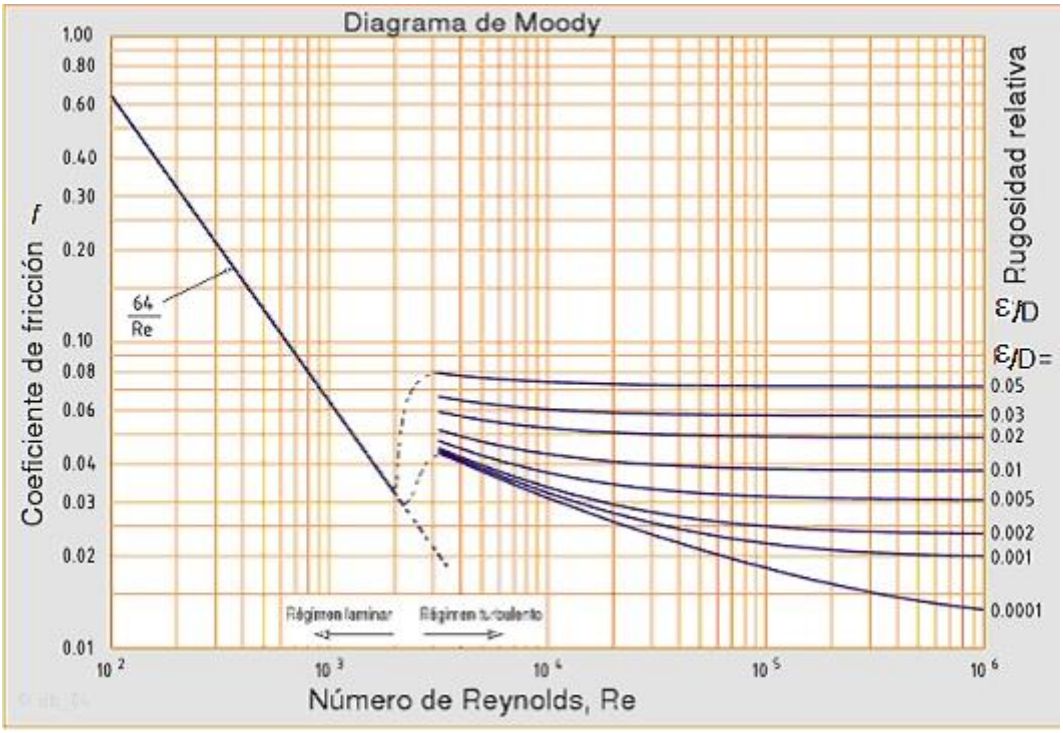


Diagrama de Moody

A continuación se va a aplicar lo anterior, para calcular la pérdida de carga que se produce en el tramo más desfavorable considerado de la instalación de riego.

Como ya se indicó en el inicio de este apartado, el recorrido más desfavorable, donde las pérdidas de carga serán mayores, será el formado por los tramos indicados por las letras **OBC**.

A su vez, en este recorrido se distinguen dos tramos diferentes con tuberías de distinto diámetro, a saber:

- **Tramo OB**, correspondiente al tramo de la línea principal en tubería enterrada de polietileno con *DN40*
- **Tramo BC**, ramal aéreo portagoteros de tubería de polietileno con *DN16*

Se calcula, a continuación, las pérdidas de carga originadas en cada tramo por separado:

- **Tramo OB** (Línea principal de distribución enterrada):

• Material tubería: polietileno de baja densidad para uso agrícola *PE-32* (ver apartado 4.1)

• Diámetro nominal, *DN= 40 mm* (ver apartado 4.1)

• Diámetro interior, *Di= 29 mm* (ver apartado 4.1)

• Longitud del tramo, *L= 120 m* (ver apartado 4.1)

• Velocidad del agua en el tramo, *v= 0,84 m/s* (calculado en el apartado 4.2)

• Rugosidad absoluta de la tubería, ***ε= 0,015 mm*** (según tabla 18)

• Rugosidad relativa *(ε_r = ε/Di): 0,00052*

• Cálculo del número de Reynolds (*Re*) en el tramo:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\vartheta}$$

siendo,

v la velocidad del agua en el interior de la tubería en el tramo OB: *0,84 m/s*;

D es el diámetro interior de la tubería: *0,029 m*;

ϑ es la viscosidad cinemática del agua a 20 °C: *1,007 x 10^{-6} m^2/s*.

Se obtiene un Reynolds de valor, *Re = 24191*.

A partir del número de Reynolds obtenido (*Re = 24191*) y de la rugosidad relativa de la tubería en este tramo (*ε_r = 0,00052*), se entra con dichos valores en el diagrama de Moody, obteniéndose un coeficiente de fricción de, *f=0,027*.

Calculado el coeficiente de fricción (*f=0,027*) para este tramo, y aplicando la formulación de Darcy-Weisbach indicada al principio de este apartado, se obtiene la pérdida de carga que se produce en el tramo OB de la tubería principal de distribución:

$$\triangle p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

donde,

L es la longitud del tramo considerado de tubería: *120 m*;

D es el diámetro interior de la tubería: *0,029 m*;

v es la velocidad del agua en el interior de la tubería: *0,84 m/s*;

g es la acelaración de la gravedad (*9,81 m/s^2*)

f es el es el factor de fricción calculado: *0,027*.

Sustituyendo resulta una pérdida de carga en el tramo **OB** de:

$$\Delta p_{OB} = 4{,}02 \text{ m}$$

- **Tramo BC** (ramales portagoteros):

• Material tubería: polietileno de baja densidad para uso agrícola *PE-32* (ver apartado 4.1)

• Diámetro nominal, *DN= 16 mm* (ver apartado 4.1)

• Diámetro interior, *Di= 13,6 mm* (ver apartado 4.1)

• Longitud del tramo, *L= 55 m* (ver apartado 4.1)

• Velocidad del agua en el tramo, *v= 0,15 m/s* (calculado en el apartado 4.2)

• Rugosidad absoluta de la tubería, ***ε= 0,015 mm*** (según tabla 18)

• Rugosidad relativa *($\varepsilon_r = \varepsilon/Di$): 0,0011*

• Cálculo del número de Reynolds (*Re*) en el tramo:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\vartheta}$$

siendo,

v la velocidad del agua en el interior de la tubería en el tramo BC: *0,15 m/s*;

D es el diámetro interior de la tubería: *0,0136 m*;

ϑ es la viscosidad cinemática del agua a 20 °C: *1,007 x 10^{-6} m^2/s*.

Se obtiene un Reynolds de valor, *Re = 2026*.

En este caso, como el número de Reynolds obtenido es tan bajo, el flujo en este tramo constituido por los ramales portagoteros se encuentra prácticamente en el régimen laminar, por lo que la rugosidad de la tubería influye poco en su coeficiente de fricción (*f*), y éste se puede calcular, según se indicó anteriormente, aplicando la fórmula de *Poiseuille*:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Resultando un factor de fricción (*f*) en este tramo de *f= 0,032*

Calculado el coeficiente de fricción (*f=0,032*) para este tramo, y aplicando la formulación de Darcy-Weisbach indicada al principio de este apartado, se obtiene la pérdida de carga que se produce en el tramo BC correspondiente a los ramales portagoteros:

$$\triangle p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

donde,

L es la longitud del tramo considerado de tubería portagoteros: *55 m*;

D es el diámetro interior de la tubería: *0,0136 m*;
v es la velocidad del agua en el interior de la tubería portagoteros: *0,15 m/s*;
g es la acelaración de la gravedad (*9,81 m/s²*)
f es el es el factor de fricción calculado: *0,032*.
Sustituyendo resulta una pérdida de carga en el tramo **BC** de:

$$\Delta p_{BC} = 0{,}15\ m$$

En consecuencia, y sumando las pérdidas obtenidas en ambos tramos, se obtiene la pérdida de carga producida en los tramos rectos de tubería, según la distancia más desfavorable:

$$\Delta p_{OBC} = \Delta p_{OB} + \Delta p_{BC} = 4{,}02\ m + 0{,}15\ m = 4{,}17\ m$$

B) Pérdida de carga producida en puntos localizados de la red de riego:

En el apartado A) anterior, se ha mostrado el proceso para calcular la pérdida de carga producida en los tramos rectos de tuberías, pero en la instalación hay otros elementos, como válvulas, filtros, derivaciones, codos, cambios de dirección, etc., que también contribuyen generando pérdidas de carga en la instalación.

Para evaluar las pérdidas locales que se originan en estos elementos que se encuentran intercalados en la instalación (codos, derivaciones en T, bifurcaciones, reducciones...) se puede emplear la siguiente formulación de tipo empírica:

$$\Delta p = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

o bien,

$$\Delta p = K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

donde el coeficiente adimensional *k* (coeficiente de pérdida) sirve para medir la caída de presión que se produce en cada elemento de la instalación.

El valor de este coeficiente se obtiene experimentalmente y lo suele suministrar cada fabricante de los distintos elementos.

A falta de más información de un determinado fabricante, se pueden emplear los siguientes valores orientativos para el coeficiente *k* de la siguiente tabla:

Válvulas (abiertas)	**Coeficiente de pérdida, *K***
De bola	*K = 0,1*
Compuerta	*K = 0,1 - 0,3*
Anti-retorno	*K = 1,0*
De asiento estándar. Asiento de fundición	*K = 4,0 - 10,0*
De asiento estándar. Asiento de forja (pequeña)	*K = 5,0 - 13,0*
De asiento a 45º. Asiento de fundición	*K = 1,0 - 3,0*
De asiento en ángulo. Asiento de fundición	*K = 2,0 - 5,0*
De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeña)	*K = 1,5 - 3,0*
Mariposa	*K = 0,2 - 1,5*
Diafragma	*K = 2,0 - 3,5*
De macho o tapón. Rectangular	*K = 0,3 - 0,5*
De macho o tapón. Circular	*K = 0,2 - 0,3*
Otros elementos	**Coeficiente de pérdida, *K***
Codos a 90º	*K = 0,2*
Filtros	*K = 3,0*
Derivación	*K = 0,7*

Tabla 20. Coeficientes de pérdida de carga, *K*

Para el caso que las válvulas se encuentren parcialmente abiertas, el valor de los coeficientes de pérdida de carga respecto al valor del coeficiente en apertura total, se puede tomar de esta otra tabla:

Cociente $K_{(parcialmete\ abierta)}/K_{(abierta)}$			
Situación	**Compuerta**	**Esfera**	**Mariposa**

Abierta	*1,0*	*1,0*	*1,0*
Cerrada 25%	*3,0 - 5,0*	*1,5 - 2,0*	*2,0 - 15,0*
50%	*12 - 22*	*2,0 - 3,0*	*8 - 60*
75%	*70 - 120*	*6,0 - 8,0*	*45 - 340*

Tabla 21. Coeficientes de pérdida de carga en válvulas parcialmente abiertas

La forma de proceder para realizar el cálculo de este tipo de pérdidas de carga sería la siguiente:

1º- Se identifican los tramos que constituyen el recorrido del agua donde se va a producir la mayor pérdida de carga, es decir, el tramo más desfavorable.

2º- Se contabiliza los elementos singulares intercalados en al instalación en ese tramo (válvulas, filtros, codos, derivaciones...) y se le asigna el coeficiente de pérdida (*k*) correspondiente, según las tablas anteriores.

3º- Empleando la formulación empírica anterior para cada elemento, se obtendrá la pérdida de carga con la que contribuye ese elemento en cuestión.

4º- Finalmente, se suman todas las pérdidas de los diferentes elementos para obtener la pérdida de carga total debida a los distintos elementos de la red.

Como se ha identificado el recorrido OBC como los tramos de la instalación donde se producirá la mayor pérdida de carga, se realiza el cálculo de las pérdidas de carga de los elementos instalados en estos tramos. En la siguiente tabla se indican los valores obtenidos:

Tabla 22. Pérdidas de carga localizadas

Tramo	Caudal, Q (l/h)	Diámetro interior, D (mm)	Tipo de elemento	Unidades	Coeficiente de pérdida del elemento, *k*	Pérdida de carga, Δp_{local}(m)
OB	2.000	29	Válvula antirretorno	1	1,0	0,04

			Válvula de bola	2	0,1	0,01
			Codos a 90º	6	0,2	0,04
			Derivaciones de ramales portagoteros	20	2,0	1,44
BC	80	13,6	Inserción de los goteros	10	3,0	0,03
					Total (m)	1,56

En la anterior tabla se han contabilizado las pérdidas de carga que se producen en elementos singulares tales como válvulas, codos o cambios de dirección en la tubería. También se han tenido en cuenta las originadas por las derivaciones de los ramales portagoteros de la tubería principal, así como las interferencias con el flujo debida a la inserción de los goteros en el ramal.

Sin embargo, y por ser elementos singulares que aportan gran pérdida de carga, los filtros deben ser consultados en sus fichas de características técnicas para conocer su valor.

En este caso, se intercalará a la salida de la bomba los siguientes elementos de filtrado con su correspondiente valor de pérdida de carga:

Tabla 23. Filtros instalados en el sistema de riego

Tipo de filtro	Pérdida de carga (m.c.a.)
Filtro hidrociclón	3,5 metros
Filtro de malla	1,5 metros

Por lo tanto, sumando las pérdidas de carga producida en los dos filtros instalados a las obtenidas en la Tabla 22 anterior correspondiente a válvulas y ramificaciones, se obtiene una pérdida de carga localizada debida a los elementos intercalados en la instalación de:

$$\Delta p_{local} = 1,56 + 3,5 + 1,5 = 6,56 \text{ metros.}$$

C) Pérdida de carga producida en los emisarios o goteros:

La conexión del gotero a la tubería portagoteros produce una pérdida de carga que en general se puede expresar en forma de longitud equivalente de la tubería donde se inserta el gotero.

En función del diámetro nominal del ramal portagoteros, esta longitud equivalente toma el valor que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 24. Longitudes equivalentes de pérdida de carga en goteros

Diámetro del portagoteros	12 mm	16 mm	20 mm	25 mm
Longitud equivalente	0,35 m	0,23 m	0,18 m	0,12 m

Por tanto, y finalizando con el cálculo, una vez obtenidas las distintas pérdidas de carga anteriores (A, B y C), su suman todas ellas, con objeto de obtener la pérdida de carga total de la instalación, resultando ser de:

$$\Delta p_{TOTAL} = 10{,}96 \text{ metros.}$$

4.4- Dimensionado del grupo de bombeo

En los apartados anteriores de este tutorial se ha obtenido las necesidades de caudal de agua y presión que debe generar el grupo de bombeo que se seleccione.

El caudal de agua que se deberá bombear del pozo se obtuvo en el apartado 4.2 anterior, según el siguiente criterio:

- Nº. olivos a regar: *250 olivos*
- Caudal de riego por olivo: *8 l/h*
- Caudal total necesario: *2000 l/h ($5{,}6 \cdot 10^{-4}$ m^3/s)*

Considerando una sobredimensionado de un *25%* para futuras ampliaciones, el caudal que debe suministrar la bomba será entonces de *2,5 m^3/hora*.

Por otro lado, en cuanto a la presión que debe dar la bomba de agua para el riego, también llamada altura manométrica (*H*), reseñar que se compone de la suma de los siguientes términos:

$$H = Hg + \Delta p$$

donde,

Hg representa la altura geométrica que debe salvar el agua, es decir, en este caso es la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua en el pozo.

Δp es la pérdida de carga del flujo de agua a su paso por tuberías, filtros, válvulas, etc., en la instalación hasta que sale por el gotero.

Bombas Sumergibles

--

Catálogo de productos

Para obtener el valor de la altura geométrica (*Hg*), éste coincidirá con la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua en el pozo (a 8 metros de profundidad, según se indicó en el apartado 4.1). A este valor habrá que sumarle la variación de nivel que experimente el nivel freático a medida que el bombeo de agua se desarrolla, o bien, por la variaciones debida a la estacionalidad (en verano al ser la época seca el nivel freático de los acuíferos baja).

Con estas consideraciones, se establece que el nivel del agua en el pozo variará de 8 a 12 metros de profundidad, debiéndose instalar una sonda de nivel que desconecte automáticamente el bombeo de agua cuando el nivel en el pozo baje por debajo de los 12 metros de profundidad.

En este sentido, la altura geométrica (*Hg*) que deberá vencer la bomba será, para el caso más desfavorable, de *12 metros*.

El otro término que proporciona la altura manométrica de la bomba son las pérdidas de carga que se producen en la instalación. Este valor se calculó en el apartado 4.3 anterior resultando ser, *Δp= 10,96 m*.

Sumando ambos conceptos se obtendrá la altura manométrica total o presión que debe dar la bomba:

$$H = Hg + \Delta p = 12 + 10{,}96 = 22{,}96 \text{ metros.}$$

En resumen, los criterios para realizar la selección de la bomba serán:

Tabla 25. Criterios de diseño de la bomba

Caudal (m^3/h)	Presión (metros)
2,5	**22,96**

Para la selección de la bomba, cada fabricante dispone generalmente de tablas y herramientas informáticas de selección rápida que permite obtener el modelo de bomba que mejor se adapta a nuestros requerimientos de entre toda la gama de productos.

En este caso, se ha optado por seleccionar el equipo de bombeo del fabricante *Grundfos*, cuya aplicación *WebCAPS* resulta ser una herramienta online para la selección y dimensionado de grupos de bombeo.

>> WebCAPS de Grundfos - (Herramienta Online para Selección y Dimensionamiento de Productos)

Haciendo uso de la aplicación WebCAPS de Grundfos, con los datos de entrada de la tabla 25 anterior, resulta el siguiente modelo de bomba:

Modelo de bomba: **SP 3A-6 50 Hz de GRUNDFOS**	
Tipo:	Bomba sumergible multicelular para suministro de agua subterránea, provista de motor trifásico, tipo encapsulado con protección contra arena, cojinetes lubricados por el líquido y diafragma compensadora de presión.
Caudal de diseño:	3,31 m^3/h
Presión:	23 m
Materiales	
Bomba:	Acero inoxidable, AISI 304
Impulsor:	Acero inoxidable, AISI 304
Motor:	Acero inoxidable, AISI 304
Datos eléctricos	
Potencia nominal:	0,599 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 380-400-415 V
Tipo de arranque:	Directo

Corriente nominal:	1,30-1,40-1,50 A
Cos phi - Factor de potencia:	0,70-0,64-0,60
Velocidad nominal de giro:	2850-2860-2870 r.p.m.
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	B
Otros datos	
Válvula:	Bomba con válvula de retención integrada
Etapas:	6
Diámetro del motor:	4 inches
Peso neto/bruto:	8,6 kg / 9,9 kg

Para más información, ver las curvas de funcionamiento y de rendimiento, y de otros datos técnicos de la bomba seleccionada, se adjunta acceso al documento impreso en formato .pdf: