

1 PRIMER CAPÍTULO – PRINCIPIANTES

Está destinado a las personas que les gusta hacer chapuzas en su jardín, porque creo que cada uno puede instalar su propio sistema de riego si se le explica como hacerlo. Si ya eres un experto, no hace falta que lo leas todo. El nombre de cualquiera de las secciones te dirá que hay dentro (por lo menos eso creo).

Seré feliz, si alguien sin conocimientos teóricos profundos (y sin tener una carrera de ingeniero) puede diseñar e instalar su propio sistema de riego, y encima que éste funcione. Vamos allá.

1.1 El agua

No quiero aburrirte, porque seguro que ya sabes para que sirve el agua en el jardín. Sin agua no hay vida y tus plantas no funcionarán satisfactoriamente. Unas necesitan más, otras menos, incluso hay plantas que no se riegan (a parte de las artificiales), los cactus. Pero esto no quiere decir que los cactus no la necesiten: simplemente saben usarla con mucha eficacia y no evaporarla tan rápidamente como las demás. El mayor tiburón en el consumo de agua en el jardín es, sin duda, el césped.

También te has dado cuenta (sobre todo en verano) que por muchas veces que riegues tus plantas y césped no es suficiente y tienes que repetirlo una y otra vez, día tras día. «¿Ya está seco otra vez?» «¿Dónde demonios se ha ido la humedad?» Si lo haces con una regadera, te duelen los brazos. La gente un poco más sofisticada lo hace con una manguera. «¿Pero no es un rollo cada día enrollar la manguera?» Espero estar acabando de convencerte de que tú también necesitas un sistema de riego – y ¡ahí estamos!



Imagen 1: Tubería con goteros cerca de plantas

Si te suelen asustar las facturas estivales de agua, debes saber que el sistema de riego ahorrará tiempo y agua siempre cuando esté bien diseñado y gestionado. Si eres un jardinero muy aficionado y te gusta mucho darles agua a tus plantas en persona, siempre podrás apagar el riego automático cuando tengas ganas de hacerlo a mano.

He visto a mucha gente regar sus plantas mojando las hojas, pero la mayoría de las plantas recibe agua a través de su sistema radicular. Además, si se mojan las hojas después de un día caluroso, muchas plantas se marchitan y al repetir esto cada día, se pueden desarrollar

algunos tipos de hongos. Yo no me metería en una piscina de 15 grados (°C) después de todo un día expuesto al sol a 40 grados, porque no es agradable para el corazón. A las plantas tampoco les gusta demasiado.

No es mi misión explicártelo todo sobre el agua, pues en el interior de las plantas suceden miles de reacciones químicas y dependen del agua necesariamente. Como cada planta ya sabe que tiene que hacer con el agua, nuestra misión es aprender como transportarla a sus raíces. La planta ya se ocupará del resto.

1.2 Tipos de riego

La mejor de las opciones es mojar la tierra únicamente alrededor de la planta, justamente allí dónde están raíces. Para ello es recomendable emplear riego localizado, generalmente conocido como el *riego por goteo*. Es más económico, en cuanto al consumo de agua, aunque más costoso en su instalación.

Otro tipo habitual es el *riego por aspersión* (o difusión). Son aquellos mecanismos llamados aspersores (y difusores), que se levantan del suelo y, para entendernos coloquialmente, hacen chic, chic, chic. Se emplean preferentemente para regar praderas y



Imagen 2: Difusores en acción



Imagen 3: Un difusor en funcionamiento de cerca

aparece rápido de los emisores a nivel de la superficie e inunda por completo la tierra hasta casi crear charcos. En muchos países está prohibido y no es muy habitual en jardines residenciales por el consumo elevado de agua, eso sí, en arbolados públicos se emplea a menudo para regar los árboles directamente en sus alcorques.

céspedes, nunca arbustos ni árboles, salvo excepciones. Quizás se te ocurra la idea: «¿Y qué tal el riego por goteo para el césped?» Pues, sí. La instalación es más costosa, pero puede ser muy útil para los que tengan poca agua. Ya hablaremos de ello (pág. 118).

En algunos países, sobre todo donde aún hay mucha agua, se emplea también otro tipo de riego, el llamado *riego por inundación*. Funciona bien en terrenos llanos, porque el agua

1.3 Esquema de un sistema de riego

Un jardín típico suele tener una parte cubierta por césped y grupos de plantas a su alrededor. En el esquema de la *Imagen 4* puedes apreciar en que consiste un sistema sencillo de riego. Para que entiendas como funciona este galimatías, tendré que explicarte algo de teoría.

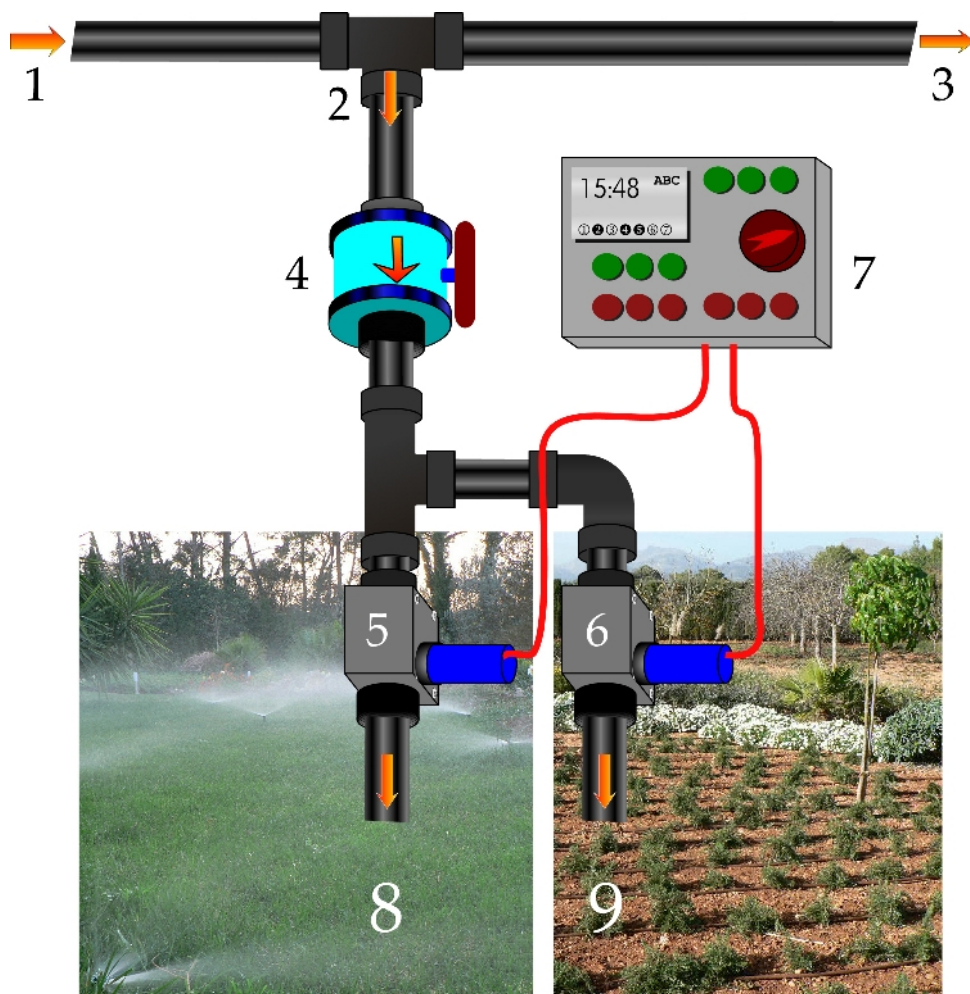


Imagen 4: Esquema de un sistema de riego sencillo: 1 – entrada de «la calle» o de la bomba, 2 – acometida, 3 – suministro de casa, 4 – llave de paso, 5 y 6 – electroválvulas, 7 – programador, 8 – sector de difusores para el césped, 9 – sector de goteo para las plantas

1.4 Presión

«¿Qué ocurre si tapas con un dedo la salida de un grifo al abrirlo?» Si el agua tiene poca presión, puedes aguantar el dedo y ésta no llega escapar. Puedes sentir que algo empuja contra tu dedo, pero tu fuerza es mayor y salvo unas cuantas gotas el agua no sale. Si hay mucha presión, no podrás aguantar ni un rato y saldrá un buen chorro. Si la presión tiene valores moderados, puedes aguantar el dedo, pero en algunos sitios éste se aleja un poco y el

agua empieza a salir en chorritos y algunos de ellos hacia ti, obviamente, acabarás mojándote.

La presión fue definida por físicos de siglos anteriores como la fuerza por unidad de superficie, y más adelante aprenderemos medirla, para no tener que mojarnos cada vez que necesitamos conocerla. Gracias al experimento del grifo, has aprendido algo de esta propiedad: cuanto más presión, mayor será la fuerza que sientas en el dedo. A lo largo de la historia se han utilizado muchos tipos de unidades para medir la presión (bar, atmósfera, pascal, torr = mm de mercurio, kilopondio/cm²). La más moderna de todas es el **pascal** (que es 1 N/m², abreviación Pa) que, aunque es obligatorio su uso dentro de Europa, en la práctica no se emplea demasiado; se utilizan los *metros de columna de agua* (1 m.c.a. son 9807 pascales) o el **bar** (abreviación bar, 1 bar = 100000 Pa), a lo que algunos llaman familiarmente «kilos». Los instaladores y fontaneros dicen: "Aquí hay 6 kilos", y no dicen lo correcto: "Aquí hay 0,6 megapascuales", incluso, los «kilos» se emplean para las atmósferas, y como verás, no es lo mismo. Nosotros vamos a seguir la costumbre de los fontaneros, y así en todas las tiendas de material para instaladores te entenderán. En el texto de este libro en vez de los «kilos» utilizaremos bares, que resulta ser lo mismo. Siempre y donde sea posible, utilizaremos bar como la unidad estándar del libro.

Si algún día tienes que hacer una conversión de unidades, aquí hay dos tablas útiles.

Presión, unidades	pascales	bares	atmósferas	(psi) libras por pulgada cuadrada	milímetros de mercurio	(m.c.a.) metros de columna de agua
1 Pa =	1	0,00001	0,00000987	0,000145	0,0075	0,000102
1 bar =	100000	1	0,9869	14,504	750,06	10,197
1 atm =	101325	1,01325	1	14,696	760	10,332
1 psi =	6894,8	0,06895	0,0681	1	51,72	0,703
1 torr = 1 mm Hg =	133,32	0,00133	0,00132	0,0193	1	0,0136
1 m.c.a. =	9806,7	0,09806	0,0968	1,422	73,56	1

Tabla 1: Conversión de unidades de presión

Múltiplos	pascales	kilopascuales	megapascuales	bares
1 Pa =	1	0,001	0,000001	0,00001
1 kPa =	1000	1	0,001	0,01
1 MPa =	1000000	1 000	1	10
1 bar =	100000	100	0,1	1

Tabla 2: Conversión de múltiplos de unidades de presión

1.5 Caudal

Es la hora de continuar con los experimentos, «¿qué te parece?» Coloca un cubo de volumen conocido bajo un grifo, abre el grifo y cuenta los segundos hasta que se llene. No debo recordarte que si solo abres un poco el grifo, el tiempo de llenado será largo y viceversa. La rapidez con que se llene ese cubo es el caudal y se mide en *litros por hora*, litros por segundo y metros cúbicos por segundo. Espero que no te extrañe si te digo que los estadounidenses lo miden en *galones por minuto* (GPM). Esto es bueno saberlo, porque la mayoría de los fabricantes de elementos de riego (y no exclusivamente de éso) tiene sede en

los EE.UU. y por eso su estándar de fichas técnicas se denomina en GPM. Pero nosotros para los cálculos utilizaremos *litros por hora*, aunque la unidad oficial es de *metros cúbicos por segundo*. Pues, si tu cubo tiene 10 litros y se ha llenado en 10 segundos, has podido observar un caudal de 1 L/s = 3600 L/h.

Caudal, unidades	metros cúbicos por segundo	litros por segundo	litros por minuto	litros por hora	(GPM) galones por minuto
1 L/s =	0,001	1	60	3600	15,85
1 L/min =	0,0000167	0,0167	1	60	0,26
1 L/h =	0,000000278	0,000278	0,0167	1	0,0044
1 GPM =	0,0000631	0,0631	3,785	227,12	1

Tabla 3: Conversión de unidades de caudal

Volumen	metros cúbicos	litros	mililitros	galones	(pt) pintas
1 m³ =	1	1000	1000000	264,17	2113,38
1 L =	0,001	1	1000	0,2642	2,113
1 mL =	0,000001	0,001	1	0,00264	0,0211
1 US gallon =	0,00379	3,7854	3785,4	1	8
1 pt =	0,00047	0,4732	473,18	0,125	1

Tabla 4: Conversión de unidades de volumen

1.6 Transporte de agua. Tuberías

Para aquéllos y aquéllas, a los que les gusta cuidar su aspecto físico, recomiendo desplazar agua en cubos. Para los demás (incluyéndome a mí) existe un sistema un poco más cómodo. Antiguamente se usaban canales, en algunas regiones incluso cañas de bambú, y esto es precisamente lo que han copiado los fabricantes modernos.

Hoy en día lo llamamos tuberías (familiarmente tubos, cañerías o pipas según la región), se fabrican de diferentes materiales y en varios diámetros según su uso. Para los



Imagen 5: Tubería de polietileno

sistemas de riego el material más cómodo es el polietileno (P.E.). Los tubos de P.E. se pueden curvar fácilmente y las conexiones se hacen muy rápido y sin requerimiento de habilidades muy especiales. Sin embargo, hay instaladores que prefieren usar tubos de PVC rígido (pág. 127). Los empalmes de estos tubos se hacen con una cola especial y después hay que esperar un día para poder cargar el sistema con presión, lo que provoca que la instalación se prolongue, porque hacer una modificación o reparar un fallo requiere un día adicional sin poder comprobar el resultado. Los tubos de PVC vienen en barras de 3, 5 ó 6 m y, si no

1.16.1 «¿Cómo determinar el caudal máximo?»

Si quieres calcularlo por tu cuenta, puedes usar fórmulas del *Segundo Capítulo*, pág. 75. Si no quieres calentar tu cerebro prematuramente, usa las *Tablas 12 y 13*.

Ahora puedes comparar el caudal máximo disponible en tu sistema con el caudal que requiere un sector de los emisores. Si el caudal del sector es mayor que el caudal disponible, tendrás que dividir los emisores en 2 (o más) grupos con caudales equilibrados.

El tubo que alimentará los sectores de riego deberá ser de un diámetro similar o más pequeño que la tubería de suministro. Si no respetas esa regla y usas para tus sectores un diámetro mucho mayor que el de la tubería de suministro, te encontrarás con problemas muy serios.

Pulgadas	TUBOS DE ACERO			TUBOS DE COBRE		
	Denominación	Diámetro exterior [mm]	Caudal máximo [L/h]	Denominación	Diámetro exterior [mm]	Caudal máximo [L/h]
3/8"	DN 10	16,75	490	13 x 15	15	380
1/2"	DN 15	21,75	890	16 x 18	18	580
3/4"	DN 20	26,75	1375	20 x 22	22	905
1"	DN 25	33,5	2250	26 x 28	28	1530
1 1/4"	DN 32	42,25	3860	33 x 35	35	2465
1 1/2"	DN 40	48,25	5095	40 x 42	42	3620
2"	DN 50	60	8305	51,6 x 54	54	6020
2 1/2"	DN 65	75,5	13460			
3"	DN 80	88,25	18895			

Tabla 12: Diámetros estándar y caudales máximos de tuberías metálicas

Diámetro exterior [mm]	Polietileno agrícola (baja densidad PE-32)			Polietileno alimentario (alta densidad PE50A)			PVC a presión			
	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	16 bar
16		610	570	830	785	610	830			785
20		1085	880	1345	1255	1085	1375	1285		1225
25	1870	1765	1375	2130	1870	1765	2165	2165	2055	1905
32	3325	2910	2285	3565	3325	2910	3715	3615	3420	3140
40	5255	4505	3565	5495	5255	4505	5870	5620	5495	4905
50	8210	7060	5560	8975	8210	7060	9450	9130	8665	7695
63	13015	11205	8895	14365	13015	11205	14965	14865	13780	12185
75	18475	15990	12550	20310	18475	15990	21620	21140	19495	17265
90	26605	22975	18140	29220	26605	22975	31660	30355	28100	24885

Tabla 13: Caudales máximos en tuberías de plástico, valores en L/h (litros por hora)

1.17 Tablas rápidas del diseño de riego por aspersión

Para juzgar los sectores con *emisores emergentes* (aspersores y difusores) y sin necesidad de hacer más cálculos, para decidir rápidamente si éstos funcionarán o no, puedes consultar las siguientes tablas. Se seleccionaron unos valores comunes de radios de alcance, cantidades de emisores en un sector, caudales y presiones de trabajo en combinación con diferentes diámetros y largos de la tubería tomando como referencia la distancia entre la acometida (o grupo de bombeo en su caso) y el primer emisor en la línea.

Aunque con pocos valores seleccionados, aparecieron muchas combinaciones y en consecuencia, las tablas son largas. Puede que no encuentres valores exactamente iguales a

los de tu propio diseño, pero casi seguro que encontrarás valores muy cercanos y así podrás ver si el sector trabajará. Las tablas se pueden usar también al revés – adaptando el diseño a unos valores concretos entre los listados.

Para reducir la cantidad de las combinaciones tuve que simplificar el diseño, poniendo todos los emisores del sector con los mismos valores del caudal y, a su vez, todos instalados en línea con separación uniforme (el esquema de conexión se puede apreciar en la *Imagen 34*). En la práctica, muchas veces es imprescindible ramificar un sector en varios laterales y emplear emisores de diferentes caudales. Más abajo aclararemos cómo realizar una búsqueda en las tablas, dando unos cuantos ejemplos. El cálculo asume también los efectos provocados por una electroválvula de 1" (intercalada en línea).

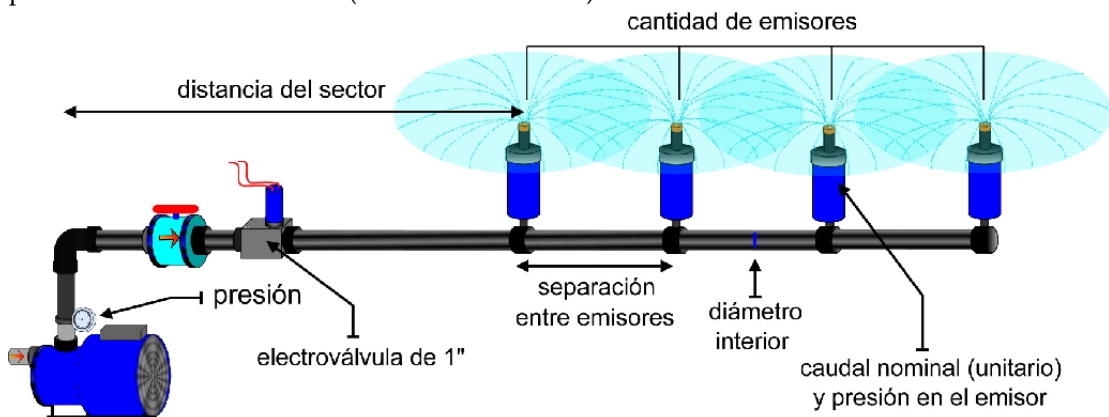


Imagen 34: Definición de magnitudes para la Tabla 15 (selección rápida de emisores)

En dirección *vertical* de la Tabla 15 varían los siguientes **parámetros**:

- ➔ p_e - presión de trabajo en los emisores (en bares): 1.5, 2.5 y 3.5
- ➔ q_1 - caudal nominal de un difusor o aspersor (en litros/hora): 100, 400 y 800
- ➔ r - radio de alcance = separación entre emisores (en metros): 3, 5 y 8
(los datos de esas 3 primeras líneas los obtendremos de fichas técnicas)
- ➔ n - cantidad de emisores en el sector: 4, 6 y 10
- ➔ Q_{total} - caudal total del sector ($Q_{\text{total}} = n \cdot q_1$)
- ➔ L - distancia del sector, medido entre la acometida (o la bomba en su caso) hasta el primer aspersor (en metros): 20, 50 y 100

Los cambios importantes de los parámetros se delimitan con rayas: _____ ===== =====

En dirección *horizontal* de la Tabla 15 varían únicamente los valores de:

- ➔ el diámetro exterior [diámetro interior en corchetes] de la tubería (en milímetros): 25[20,4]; 32[26,2]; 40[32,6]. Como material de la tubería se ha escogido el polietileno agrícola (6 bar)
- ➔ $Q_{\text{máx}}$ - el caudal máximo recomendado para una tubería de un diámetro dado. Éste depende del tipo de material de la tubería y de su diámetro interior

El resultado, que nos proporcionan las tablas se especifica en las siguientes columnas:

- ◆ p_{bomba} - presión estática requerida (en caso de utilizar una bomba de riego)
- ◆ p_{calle} - presión estática requerida (en el caso de utilizar agua de «la calle» a través de un contador. Para este cálculo se incluyeron pérdidas provocadas por un contador de calibre bastante común (uno con caudal nominal de 2,5 m³/h)

En el caso de que alguno de esos 2 últimos campos no muestre un valor concreto, el sector pierde mucha presión y no es recomendable instalarlo con los parámetros considerados.

- ◆ **Resultado** - en esta columna aparecen siguientes opciones:
 - **Sí** - el sistema funcionará (es la opción más recomendable)
 - **Sí !** - el sistema funcionará, pero no aprovechamos plenamente el caudal disponible del sistema o hay mucha diferencia de las presiones entre el primer y el último emisor en la línea (posibles consecuencias puedes apreciar en la *Imagen 86*, pág. 78), es recomendable ramificar el sector en vez de instalarlo en una sola línea
 - **No** - el sistema no funcionará

Si quieres resolver la tarea del diseño por completo y en detalle, deberás estudiar más (pág. 62), eso sí, para una orientación rápida te bastará con las tablas de las siguientes páginas.

1.17.1 Ejemplos de uso de las tablas rápidas del diseño

Ejemplo 1. Un sector de 6 difusores iguales con un caudal unitario de 400 L/h, la presión de trabajo es de 1,5 bar y el alcance (separación entre los emisores) de 5 m. La distancia entre la fuente y los emisores es de 20 m.

La solución la encontrarás en la primera fila de los parámetros expuestos en la *Tabla 14*. En las columnas de los resultados puedes observar 3 diferentes respuestas para cada uno de los 3 diámetros. Para la tubería de 25 mm (verde oliva) el sistema no funcionará, porque el diámetro de ésta no da a basto para el caudal requerido. El diámetro de 40 mm (naranja) sería una exageración, ya que su caudal máximo es casi el doble del requerido (por eso en la columna del *Resultado* aparece el signo !). La mejor solución la obtendremos con una tubería de 32 mm (en medio, azul claro). En el caso de una bomba de riego, su presión estática mínima ha de ser 1,84 bar, mientras para un suministro público necesitaremos un valor mínimo de 2 bar (la diferencia está provocada por las pérdidas en el contador). Eso sí, la tubería de suministro debe ser por lo menos del mismo calibre (32 mm) para poder abastecer el caudal requerido (para ambos tipos del suministro).

Datos de emisor				Sector		<i>d</i> = 25 <i>d</i> _{int} = 20,4				<i>d</i> = 32 <i>d</i> _{int} = 26,2				<i>d</i> = 40 <i>d</i> _{int} = 32,6			
						<i>Q</i> _{máx} = 1765				<i>Q</i> _{máx} = 2910				<i>Q</i> _{máx} = 4505			
<i>p</i> _e [bar]	<i>q</i> ₁ [L/h]	<i>r</i> [m]	<i>n</i>	<i>Q</i> _{total} [L/h]	<i>L</i> [m]	<i>p</i> _{bomba} [bar]	<i>p</i> _{calle} [bar]	Resultado	<i>p</i> _{bomba} [bar]	<i>p</i> _{calle} [bar]	Resultado	<i>p</i> _{bomba} [bar]	<i>p</i> _{calle} [bar]	Resultado	<i>p</i> _{bomba} [bar]	<i>p</i> _{calle} [bar]	Resultado
1,5	400	5	6	2400	20	2,58	2,74	No	1,84	2,00	Sí	1,65	1,82	Sí	!		
3,5	800	8	4	3200	50	7,08	7,38	No	4,54	4,83	Sí	3,90	4,20	Sí			
2,5	100	5	10	1000	100	3,15	3,18	Sí	2,68	2,71	Sí	2,56	2,59	Sí	!		

Tabla 14: Extracto de la Tabla 15. Ejemplos 1, 2 y 3

Ejemplo 2. Un sector de 4 aspersores, con un caudal unitario de 800 L/h, la presión de trabajo es de 3,5 bar y el alcance (la separación entre emisores) de 8 m. La distancia entre la fuente y los emisores es de 50 m.

La solución la encontrarás en la segunda fila de los parámetros en la *Tabla 14*. Otra vez salen 3 diferentes respuestas para cada uno de los 3 diámetros. Con la tubería de 25 mm el sistema no funcionará, porque el diámetro de ésta no da a basto para el caudal deseado. El diámetro de 40 mm sería ideal, pero si la tubería de suministro es de 32 mm, casi seguro optarás por montar el riego con el mismo diámetro (32 mm), aunque en la columna *Resultado* aparece el signo !. En el caso de una bomba de riego, su presión estática mínima ha de ser 4,54 bar, mientras que para un suministro público necesitarías un valor mínimo de 4,83 bar. Como ves, los valores requeridos de la presión en la entrada se reducen con un aumento del diámetro. Ejemplo 3 se comentará después de las tablas (pág. 38).

Datos de emisor				Sector		$d = 25$ $d_{\text{int}} = 20,4$				$d = 32$ $d_{\text{int}} = 26,2$				$d = 40$ $d_{\text{int}} = 32,6$			
						$Q_{\text{máx}} = 1765$				$Q_{\text{máx}} = 2910$				$Q_{\text{máx}} = 4505$			
p_e [bar]	q_1 [L/h]	r [m]	n	Q_{total} [L/h]	L [m]	p_{bomba} [bar]	p_{calle} [bar]	Resultado		p_{bomba} [bar]	p_{calle} [bar]	Resultado		p_{bomba} [bar]	p_{calle} [bar]	Resultado	
1,5	100	3	4	400	20	1,52	1,53	Sí	!	1,51	1,51	Sí	!	1,50	1,51	Sí	!
1,5	100	3	6	600	20	1,56	1,57	Sí	!	1,52	1,53	Sí	!	1,51	1,52	Sí	!
1,5	100	3	10	1000	20	1,69	1,72	Sí	!	1,56	1,59	Sí	!	1,53	1,55	Sí	!
2,5	100	3	4	400	20	2,52	2,53	Sí	!	2,51	2,51	Sí	!	2,50	2,51	Sí	!
2,5	100	3	6	600	20	2,56	2,57	Sí	!	2,52	2,53	Sí	!	2,51	2,52	Sí	!
2,5	100	3	10	1000	20	2,69	2,72	Sí	!	2,56	2,59	Sí	!	2,53	2,55	Sí	!
3,5	100	3	4	400	20	3,52	3,53	Sí	!	3,51	3,51	Sí	!	3,50	3,51	Sí	!
3,5	100	3	6	600	20	3,56	3,57	Sí	!	3,52	3,53	Sí	!	3,51	3,52	Sí	!
3,5	100	3	10	1000	20	3,69	3,72	Sí	!	3,56	3,59	Sí	!	3,53	3,55	Sí	!
1,5	100	3	4	400	50	1,55	1,55	Sí	!	1,51	1,52	Sí	!	1,51	1,51	Sí	!
1,5	100	3	6	600	50	1,62	1,63	Sí	!	1,53	1,54	Sí	!	1,51	1,52	Sí	!
1,5	100	3	10	1000	50	1,85	1,88	Sí	!	1,60	1,63	Sí	!	1,54	1,57	Sí	!
2,5	100	3	4	400	50	2,55	2,55	Sí	!	2,51	2,52	Sí	!	2,51	2,51	Sí	!
2,5	100	3	6	600	50	2,62	2,63	Sí	!	2,53	2,54	Sí	!	2,51	2,52	Sí	!
2,5	100	3	10	1000	50	2,85	2,88	Sí	!	2,60	2,63	Sí	!	2,54	2,57	Sí	!
3,5	100	3	4	400	50	3,55	3,55	Sí	!	3,51	3,52	Sí	!	3,51	3,51	Sí	!
3,5	100	3	6	600	50	3,62	3,63	Sí	!	3,53	3,54	Sí	!	3,51	3,52	Sí	!
3,5	100	3	10	1000	50	3,85	3,88	Sí	!	3,60	3,63	Sí	!	3,54	3,57	Sí	!
1,5	100	3	4	400	100	1,59	1,60	Sí	!	1,53	1,53	Sí	!	1,51	1,51	Sí	!
1,5	100	3	6	600	100	1,71	1,72	Sí	!	1,56	1,57	Sí	!	1,52	1,53	Sí	!
1,5	100	3	10	1000	100	2,11	2,14	Sí	!	1,67	1,70	Sí	!	1,56	1,59	Sí	!
2,5	100	3	4	400	100	2,59	2,60	Sí	!	2,53	2,53	Sí	!	2,51	2,51	Sí	!
2,5	100	3	6	600	100	2,71	2,72	Sí	!	2,56	2,57	Sí	!	2,52	2,53	Sí	!
2,5	100	3	10	1000	100	3,11	3,14	Sí	!	2,67	2,70	Sí	!	2,56	2,59	Sí	!
3,5	100	3	4	400	100	3,59	3,60	Sí	!	3,53	3,53	Sí	!	3,51	3,51	Sí	!
3,5	100	3	6	600	100	3,71	3,72	Sí	!	3,56	3,57	Sí	!	3,52	3,53	Sí	!
3,5	100	3	10	1000	100	4,11	4,14	Sí	!	3,67	3,70	Sí	!	3,56	3,59	Sí	!
1,5	100	5	4	400	20	1,53	1,53	Sí	!	1,51	1,51	Sí	!	1,50	1,51	Sí	!
1,5	100	5	6	600	20	1,57	1,58	Sí	!	1,52	1,53	Sí	!	1,51	1,52	Sí	!
1,5	100	5	10	1000	20	1,72	1,75	Sí	!	1,57	1,60	Sí	!	1,53	1,56	Sí	!
2,5	100	5	4	400	20	2,53	2,53	Sí	!	2,51	2,51	Sí	!	2,50	2,51	Sí	!
2,5	100	5	6	600	20	2,57	2,58	Sí	!	2,52	2,53	Sí	!	2,51	2,52	Sí	!
2,5	100	5	10	1000	20	2,72	2,75	Sí	!	2,57	2,60	Sí	!	2,53	2,56	Sí	!
3,5	100	5	4	400	20	3,53	3,53	Sí	!	3,51	3,51	Sí	!	3,50	3,51	Sí	!
3,5	100	5	6	600	20	3,57	3,58	Sí	!	3,52	3,53	Sí	!	3,51	3,52	Sí	!
3,5	100	5	10	1000	20	3,72	3,75	Sí	!	3,57	3,60	Sí	!	3,53	3,56	Sí	!
1,5	100	5	4	400	50	1,55	1,56	Sí	!	1,52	1,52	Sí	!	1,51	1,51	Sí	!
1,5	100	5	6	600	50	1,62	1,64	Sí	!	1,54	1,55	Sí	!	1,51	1,52	Sí	!
1,5	100	5	10	1000	50	1,88	1,91	Sí	!	1,61	1,64	Sí	!	1,54	1,57	Sí	!

2 SEGUNDO CAPÍTULO – INSTALADORES

Si eras un principiante, has tenido que sufrir mucho para tragar el *Primer Capítulo* y llegar hasta este punto. Si todavía estás interesado en continuar con tus estudios, aquí podrás profundizar tus conocimientos en lo que se refiere a las estimaciones más precisas de los sistemas, en comparación con el diseño sencillo. De paso doy la bienvenida a los avanzados que han saltado el *Primer Capítulo*.

2.1 Ángulo de trayectoria

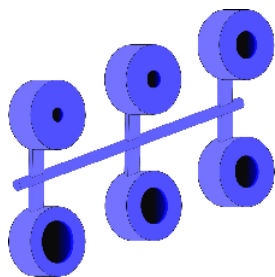


Imagen 60: Set de toberas de ángulo bajo (LA)

En el *Primer Capítulo* hemos explicado características generales de los difusores, aspersores y goteros. Ahora conviene ampliar un poco tus conocimientos sobre las toberas. Si viste alguna vez tablas de rendimiento de emisores de riego, puede que no se escapase a tu atención la existencia de unas toberas especiales, las de ángulo bajo. Ese tipo de toberas tiene sus propias tablas de rendimiento, a parte de las estándar, y se suele denominar con letras LA (low angle).

En el caso de los difusores, todas las toberas se suelen vender por separado y, para cada cuerpo, podemos pedir exactamente la tobera que necesitamos emplear.

Por otro lado, los aspersores se venden en conjunto con juegos completos de toberas estándar y su cantidad oscila entre 4 y 12, según el modelo (*Imagen 53*, pág. 50). Como opción se puede adquirir un juego de toberas de ángulo bajo (se reconocen por un color diferente del plástico, *Imagen 60*). En el caso de aspersores muy grandes (tipo golf), las toberas se venden por separado.

«¿Pero qué diferencia hay entre las toberas estándar y las de ángulo bajo?» Pues en el ángulo de la trayectoria, como se ve en la *Imagen 61*.



Las toberas estándar tienen el ángulo de tiro aproximadamente el doble que las de ángulo bajo.

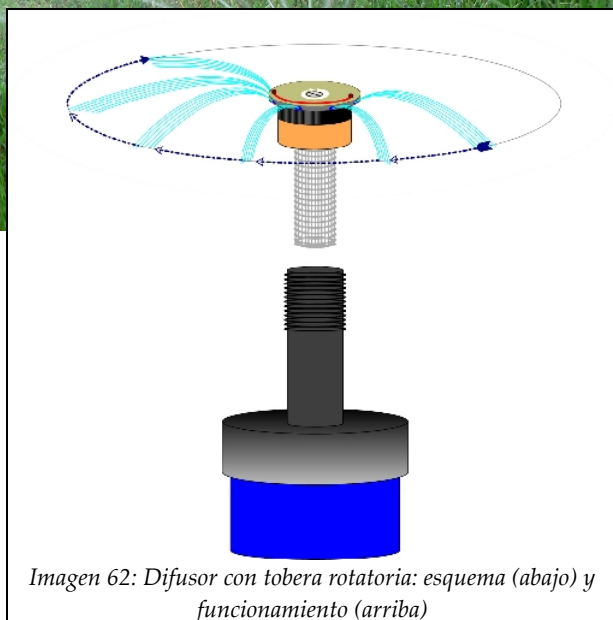
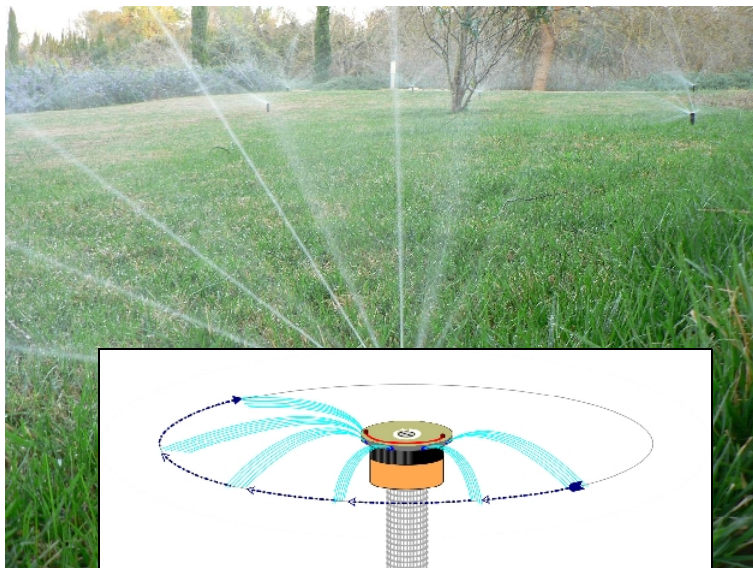
Imagen 61: Trayectoria de tobera estándar y de ángulo bajo

Se recomienda usar las toberas de ángulo bajo en zonas de viento frecuente, ya que si el agua se propaga en una altura más baja por encima del césped, el efecto de su desviación por viento será menor. También son aconsejables, en ciertas situaciones, en taludes (por ejemplo, regando desde un punto alto hacia uno bajo, más detalles en la sección *Alcance de emisores en taludes*, pág. 213).

Sin embargo, es preferente usar las toberas de ángulo estándar siempre que se pueda. Eso te permitirá dejar el césped sin siega durante más tiempo (que vago soy). Un césped alto no deja atravesar algunos chorros procedentes de aspersores porque los frena, difunde o refleja.

2.2 Toberas rotatorias

Durante la última década aparecieron en el mercado nuevas toberas en cierto modo híbridas, porque combinan propiedades de los aspersores y difusores. Generan una docena de chorros giratorios de excelente cobertura del césped y trabajan con poco caudal a presiones menores que un aspersor, pero mayores que un difusor. Debido que se instalan sobre cuerpos de difusores compatibles, el precio de un conjunto de la tobera y un cuerpo de difusor puede combatir el de un aspersor de propiedades similares. En cuanto a los radios de alcance, podríamos situarlos entre los difusores y los aspersores (desde 4 m hasta 8 m). Entre otras ventajas hay que mencionar la buena cobertura en zonas de viento y sobre todo la posibilidad de combinar toberas rotatorias de



diferentes alcances dentro del mismo sector. Ésta es una novedad revolucionaria porque no era aconsejable en el caso de los difusores y aspersores tradicionales. De hecho son unos de los pocos emisores que podemos mezclar libremente dentro del mismo sector, sea cual sea el radio de alcance o ángulo de apertura (más detalles en la pág. 246).

Debido a su bajo caudal requieren tiempos elevados de riego para poder transportar cantidades suficientes de agua. Esto va muy bien para céspedes, ya que tienen la posibilidad de absorber el agua por completo sin aparecer encharcamientos. Sin embargo, intervalos prolongados de riego significan que la bomba esté en funcionamiento más tiempo, lo que influye sobre el consumo de electricidad.

La Imagen 62 explica el funcionamiento y el ajuste de una tobera rotatoria. Los chorros múltiples se mueven en la dirección de las flechas azules, apareciendo en un extremo y desapareciendo en el otro. Casi todas las toberas rotatorias permiten ajustar el ángulo de cobertura: el rango dentro del cual oscilan los chorros. El tornillo central de la parte superior sirve para ajustar el radio de alcance. Las toberas se protegen contra granos de arena y otra suciedad presente en el agua con la ayuda de un filtro de plástico instalado por debajo.

Como ya hemos mencionado, las toberas rotatorias del mismo fabricante se pueden mezclar dentro del mismo sector. Sin embargo, no se deben combinar con toberas difusoras estándar, porque las últimas necesitan tiempos de riego hasta 4 veces menores.

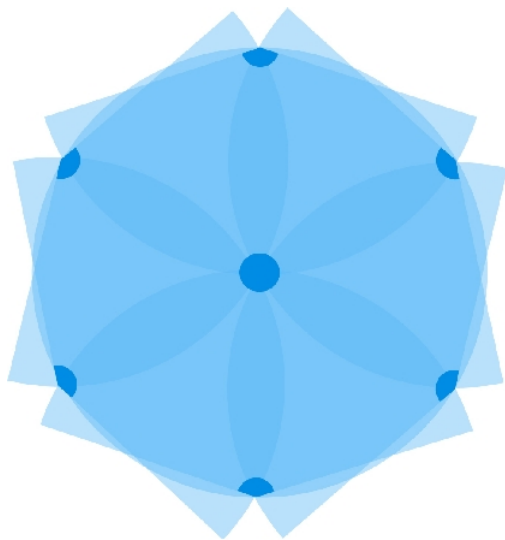


Imagen 63: Disposición y cobertura de 7 emisores en un círculo

2.3 Diseño de riego por aspersión

Para consultar cómo repartir aspersores y difusores en superficies de formas más sencillas y regulares, puedes acudir al *Primer Capítulo*, pág. 23. Aquí analizaremos formas algo más complejas.

2.3.1 Círculo

Para repartir emisores de riego en una forma circular, se puede aprovechar una propiedad interesante del círculo: el perímetro de éste es aproximadamente igual a 6 veces su radio. Aunque pueda parecer que la superficie esté cubierta en su totalidad por los difusores laterales, se quedan unos trozos sin regar. Por eso añadiremos un emisor central.

2.3.2 Triángulo equilátero

Con esta configuración de emisores se consigue una cobertura casi uniforme de la superficie regada, pero tiene una pequeña desventaja: que regamos también un poco fuera del triángulo, *Imagen 64* (más detalles en la sección *Cantidad necesaria de emisores*, pág. 193).

Como ayuda para dibujar los emisores, puedes usar un compás fijando el radio en el valor de alcance. Si trabajas a escala 1:100, por ejemplo, 3 cm de radio representarán 3 m de alcance real. Cómo establecer el radio apropiado es otro tema. Tiene que ver con las mediciones totales del césped y también con las condiciones hidráulicas del sistema. Las dos últimas influirán en la elección de los emisores adecuados. A lo largo del libro se irá aclarando ese concepto.

2.3.3 Franja

Ahora veremos un ejemplo más que explica cómo regar una franja larga y estrecha (entre 120 y 150 cm). En la *Imagen 65* podemos apreciar que los difusores están

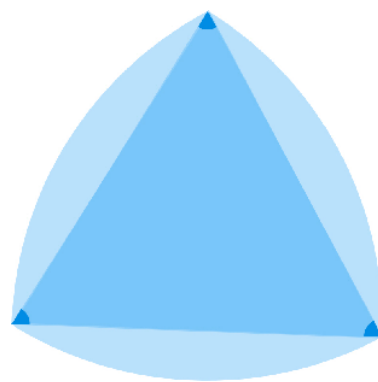


Imagen 64: Emisores en un triángulo equilátero



Imagen 65: Toberas de cobertura estándar – disposición en franja

repartidos formando triángulos. En estas situaciones son de gran ayuda las llamadas toberas microdifusoras con pequeños radios de alcance (pág. 23).

Y sin embargo, los fabricantes ofrecen también toberas diseñadas especialmente para regar franjas. El dibujo mojado por el agua no es circular sino rectangular. Como puedes apreciar en la *Imagen 66*, empleando este tipo de toberas se puede reducir la cantidad necesaria de emisores. De nuevo, debemos respetar la regla sobre la separación entre emisores. Para cubrir la franja se combinan 2 tipos de toberas que se ilustran en la parte inferior de la *Imagen 66*. La primera sirve para los lados, la segunda para los extremos.



Imagen 66: Arriba – toberas de cobertura rectangular, disposición en franja. Abajo – coberturas individuales de los emisores empleados

2.3.4 Una forma general

Es más que probable que un jardín tenga una forma distinta a las mencionadas. Por lo menos, a mí me ocurre esto a menudo. Siempre debemos tener en cuenta que es el propio diseño de la forma del césped el que manda, nunca deben hacerlo las formas de cobertura o radios de alcance de los emisores de riego. Únicamente así se consigue un aspecto natural de las praderas y se desarrolla el ingenio de un diseñador de riego. En la *Imagen 67* puedes apreciar la cobertura de difusores con toberas de diferentes ángulos.

Para llevar a cabo un diseño de formas irregulares puedes partir del hecho de que los aspersores y difusores permiten reducir el radio de alcance entre un 20 % y 25 % aproximadamente. Sin embargo, para formas muy complicadas deberás utilizar de vez en cuando emisores con diferentes toberas y radios de alcance. Las toberas rotatorias pueden ser una gran ventaja en estos casos.

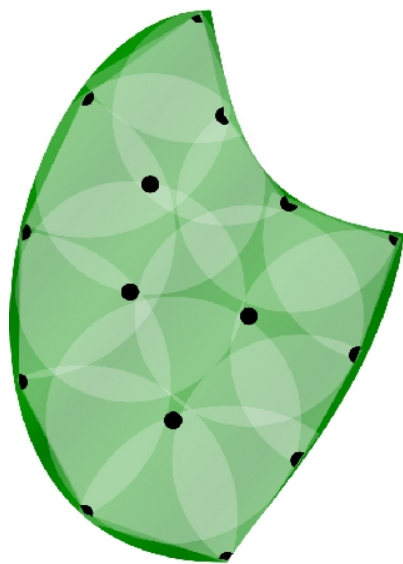


Imagen 67: Disposición de emisores en una forma irregular

2.4 Cálculo de cantidad de emisores

Para formas rectangulares nos puede ayudar un cálculo sencillo, que relaciona la separación media r entre los emisores y los lados a, b del rectángulo. La cantidad de emisores será n por el lado a y m por el lado b tal, como se ve en la *Imagen 68* (pág. 59).

En la *Tabla 22* se presenta un cálculo para $a = 12$ m y $b = 8$ m. Un software de hojas de cálculo podría ahorrar el esfuerzo, aunque no se trata de operaciones demasiado complejas. En la primera columna se substituye una secuencia de números enteros, que representa la

2.12 Aplicación de la Condición. Ejemplo B – Aspersores

En este ejemplo analizaremos un diseño de riego para un campo de fútbol doméstico. El césped tendrá una forma rectangular de dimensiones de 20 m por 10 m. Esta vez sí que nos han pedido elegir e instalar una bomba para riego, porque la presión y el caudal disponible de «la calle» no dan a basto.

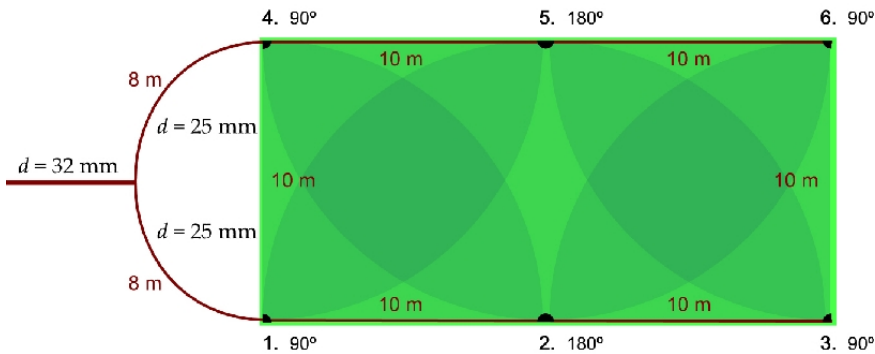


Imagen 90: Ejemplo B – Descripción de emisores, distribución de tuberías, cálculo de caudales

Dado el destino del campo, para no tropezar con los emisores de riego, los situaremos exclusivamente por el perímetro. Como ves en la *Imagen 90*, la separación es de 10 m y como sabemos que no se fabrican difusores de alcances mayores de 5 m, tendremos que emplear aspersores.

Hay que buscar unos que tiren agua a 10 m de distancia. La *Tabla 47* da rendimientos de un modelo que se adapta bien a este diseño en particular. Para las esquinas escogemos la tobera nº 1, para los lados la tobera nº 2. Opcionalmente podrías colocar la nº 2 en las esquinas y la nº 4 en los lados, pero desembocaría en caudales elevados y la necesidad de emplear tuberías de diámetros mayores (para más detalles puede consultar la pág. 25).

RENDIMIENTO DE TOBERAS DE UN ASPERSOR (intervalo de presiones: 2,5 bar – 4,0 bar)								
Tobera nº	Presión: 2,5 bar		Presión: 3,0 bar		Presión: 3,5 bar		Presión: 4,0 bar	
	Radio [m]	Q [L/h]	Radio [m]	Q [L/h]	Radio [m]	Q [L/h]	Radio [m]	Q [L/h]
1	9,9	370	10,1	400	10,2	430	10,4	450
2	10,3	730	10,5	790	10,6	850	10,8	890
3	10,6	1090	10,8	1180	10,9	1270	11,1	1330
4	10,9	1440	11,1	1560	11,2	1680	11,4	1760

Tabla 47: Ejemplo B – Rendimiento de aspersores para diferentes valores de presión (los valores empleados en el cálculo en azul)

Para la primera iteración escogeremos un valor de la presión de trabajo (p_{trabajo}) de 3,0 bar (valores en azul claro). El motivo es que los radios de alcance ya cumplen con lo requerido, eso sí, en zonas de vientos frecuentes deberíamos prolongar los radios (pág. 209). Teniendo la experiencia adquirida en el *Ejemplo A* ahora podemos acelerar la resolución. Con todo lo que se ha comentado podemos proceder con el diseño, calcular caudales en los ramales y dibujar los datos conocidos.

2.12.1 Ejemplo B - Pérdidas de carga por la tubería lateral

Para justificar los diámetros de las tuberías en el dibujo (*Imagen 90*), podemos usar la *Tabla 48* de los caudales máximos para las tuberías de plástico. En este caso, los 2 ramales son

idénticos y llevarán el mismo caudal (1590 L/h) y la tubería antes de la ramificación, el doble (3180 L/h). Para los ramales se escogió el tubo de polietileno alimentario de 25 mm y 6 bar. Para la parte principal antes del nudo usaremos, igualmente, un tubo de P.E. alimentario de 6 bar, pero de 32 mm. Los valores empleados están en azul.

Diámetro exterior [mm]	Polietileno agrícola (baja densidad PE-32)			Polietileno alimentario (alta densidad PE50A)			PVC a presión			
	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	16 bar
25	1870	1765	1375	2130	1870	1765	2165	2165	2055	1905
32	3325	2910	2285	3565	3325	2910	3715	3615	3420	3140
40	5255	4505	3565	5495	5255	4505	5870	5620	5495	4905

Tabla 48: Ejemplo B – Selección de tuberías según el caudal máximo permitido

Nos basta hacer cálculos únicamente para uno de los ramales, ya que para el otro obtendríamos el mismo resultado. En la Tabla 49 aparecen las pérdidas en los tramos individuales y su resumen.

PÉRDIDAS EN RAMAL, tubo P.E. 25 mm, 6bar, alimentario			
Tramo	Caudal [L/h]	Long. tubo [m]	Pérdida en tramo [bar]
3-2	400	10	0,007
2-1	1190	10	0,064
1-0	1590	8	0,092
Pérdidas en todo el ramal			0,16

Tabla 49: Ejemplo B – Cálculo de pérdidas de la tubería lateral en un ramal

Para conocer los diámetros interiores de las tuberías escogidas nos sirve la Tabla 50. Los valores utilizados están en azul (la tabla entera la encontrarás en la pág. 75).

Diámetro exterior [mm]	Polietileno agrícola (baja densidad PE-32)			Polietileno alimentario (alta densidad PE50A)			PVC a presión			
	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	4 bar	6 bar	10 bar	16 bar
25	21	20,4	18	22,4	21	20,4	22,6	22,6	22	21,2
32	28	26,2	23,2	29	28	26,2	29,6	29,2	28,4	27,2
40	35,2	32,6	29	36	35,2	32,6	37,2	36,4	36	34

Tabla 50: Ejemplo B – diámetros interiores de las tuberías empleadas

Para conocer toda la situación del sistema nos servirá el dibujo de la Imagen 91. Hay novedades: aparece una bomba y su tubo de aspiración con un filtro en la boca. Estos elementos son obstáculos, por eso generan pérdidas de presión y las analizaremos más adelante. Esta vez falta un tubo de suministro, ya que la bomba sirve exclusivamente para el riego y no hay derivación para la casa.

En el esquema es obvio que hay 30 m (12 m + 18 m) de tubería lateral entre la derivación y la electroválvula. Es una tubería de 32 mm, 6 bar, P.E. alimentario. Las pérdidas de carga en este tramo son: $p_{TUBO} = 0,05128 \cdot L \cdot Q^2 / d_{int}^{5,333} = 0,05128 \cdot 30 \cdot 3180^2 / 28^{5,333}$ bar = 0,30 bar.

Lo sumamos con las pérdidas del ramal terminal de los 3 aspersores:

$p_{later} = 0,30 \text{ bar} + 0,16 \text{ bar} = 0,46 \text{ bar}.$

2.12.2 Ejemplo B - Pérdidas de carga por el colector

El colector es recto, no tiene codos ni tes y la llave de paso está plenamente abierta. Nos basta con evaluar las pérdidas causadas por la electroválvula, que es de 1 pulgada. Para el caudal de 3180 L/h tomaremos el valor de $p_{vál_{el}} = 0,15$ bar.

Caudal [L/h]	Pérdidas [bar]
	Electroválvula 1"
1000	0,14
2000	0,15
3000	0,15
5000	0,21

Tabla 51: Ejemplo B – Pérdidas de carga por la electroválvula

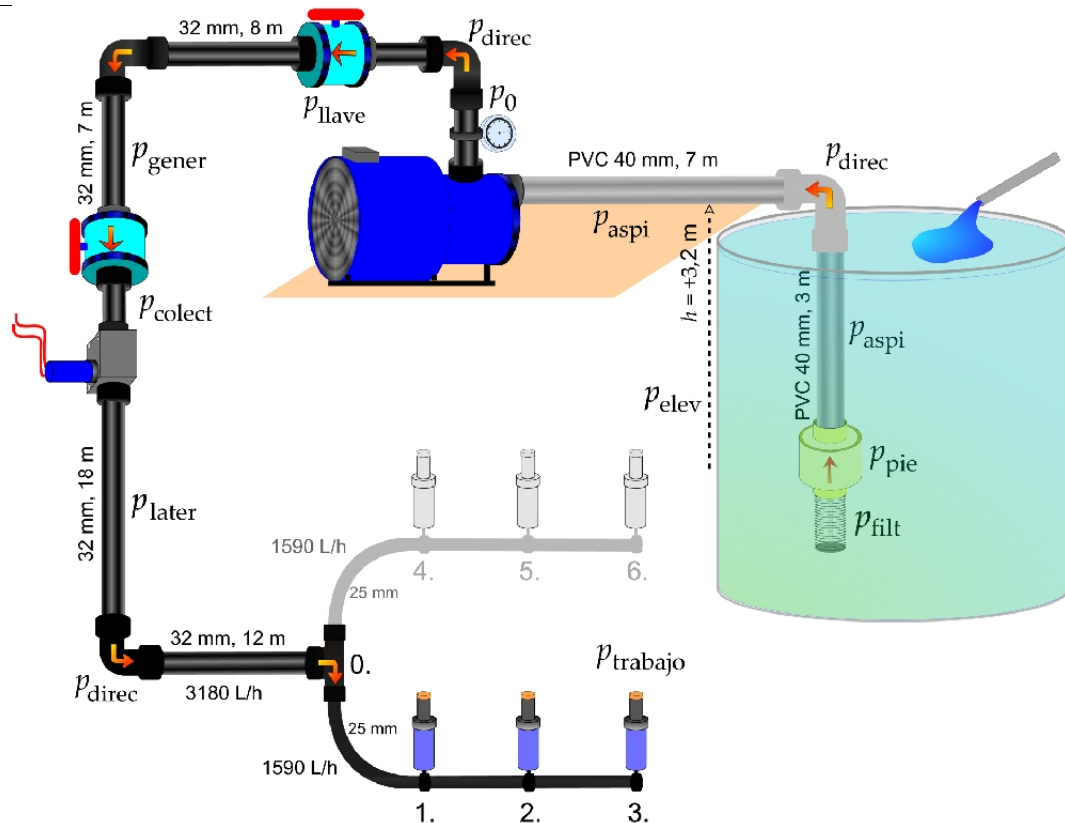


Imagen 91: Ejemplo B – Esquema completo de la línea de riego

2.12.3 Ejemplo B - Pérdidas de carga por la tubería general

Hay 15 m (7 m + 8 m) de tubería general. Es del mismo material que la lateral:

$$p_{\text{gener}} = 0,05128 \cdot L \cdot Q^2 / d_{\text{int}}^{5,333} = 0,05128 \cdot 15 \cdot 3180^2 / 28^{5,333} \text{ bar} = 0,15 \text{ bar}$$

2.12.4 Ejemplo B - Pérdidas de carga por la tubería de aspiración

Es el tramo entre la bomba y el lugar en el depósito por el cual entra agua en el sistema. La bomba aspira (literalmente) a través de este tubo. En este ejemplo el tubo de aspiración es de otro material, de PVC rígido (10 bar y de 40 mm de diámetro exterior). Para saber el diámetro interior miramos la *Tabla 50* y tomamos su valor de 36 mm.

Hay 10 m (7 m + 3 m) de tubería de aspiración. Para pérdidas causadas por tuberías de PVC cambia la constante en la fórmula (*Pérdidas de carga por tuberías*, pág. 65):

$$p_{\text{aspi}} = 0,04513 \cdot L \cdot Q^2 / d_{\text{int}}^{5,333} = 0,04513 \cdot 10 \cdot 3180^2 / 36^{5,333} \text{ bar} = 0,02 \text{ bar}$$

Las pérdidas no son significantes debido al aumento del diámetro de este tramo. Para un tubo de 32 mm estas pérdidas serían 4 veces mayores.

2.12.5 Ejemplo B - Pérdidas de carga por la válvula de pie

La válvula de pie será del calibre compatible con una tubería de 40 mm, o sea, de 1 ¼" (pulgada y cuarto). Esas válvulas cumplen la función de retener la columna de agua en los tubos para evitar el aireado del sistema.

Para evaluar su pérdida de carga podemos emplear una tabla o, como una aproximación, la fórmula mencionada: $p_{\text{pie}} = 5,7 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2/C^4 = 5,7 \cdot 10^{-9} \cdot 3180^2/1,25^4 \text{ bar} = 0,02 \text{ bar}$.

2.12.6 Ejemplo B - Pérdidas de carga por el filtro de malla

Hasta ahora no hemos mencionado pérdidas causadas por filtros. En el extremo inferior de los tubos de aspiración sumergidos en depósitos de agua, se les suele instalar un filtro para evitar la entrada de cuerpos extraños al sistema y proteger así la bomba de su destrucción. Habitualmente son muy sencillos, del tipo malla, y se instalan junto con la válvula de pie. La malla es un obstáculo, sobre todo cuando sus luces son muy pequeñas. Además cualquier reja se convierte en un obstáculo grande si se ensucia. Para un filtro de malla limpio, hay tablas o curvas de pérdidas publicadas por los fabricantes y también hay unas fórmulas medio empíricas como la siguiente (más sobre el tema en la pág. 132):

$$p_{\text{filt}} = \mathfrak{S} \cdot 6,5 \cdot 10^{-9} \cdot Q^{1,8} \cdot C^{-2,08}$$

p_{filt} – pérdidas de carga [bar], Q – caudal [L/h]

$\mathfrak{S}$ – coeficiente de la suciedad del filtro ($\mathfrak{S} = 1$ filtro limpio, $\mathfrak{S} = 2,5$ para filtro sucio)

C – calibre del filtro en pulgadas (la fórmula funciona hasta 2")

$$p_{\text{filt}} = \mathfrak{S} \cdot 6,5 \cdot 10^{-9} \cdot Q^{1,8} \cdot C^{-2,08} = 2,5 \cdot 6,5 \cdot 10^{-9} \cdot 3180^{1,8} \cdot 1,25^{-2,08} \text{ bar} = 0,02 \text{ bar}$$

Debido a que el valor es muy aproximado, siempre conviene más consultar la ficha técnica.

2.12.7 Ejemplo B - Pérdidas de carga por codos, tes y reducciones

Repasaremos todo el esquema de nuevo y nos fijaremos en estos elementos presentes en la ruta hacia el aspersor más desfavorecido (el último abajo derecha en el esquema). Entre la boca de aspiración y el último aspersor encontraremos:

1 codo de 90° (40 mm), 3 codos de 90° (32 mm), 1 te de giro, 1 reducción de 32 mm - 25 mm.

Nota: Igual que en el caso de los difusores, despreciaremos los efectos de los collarines sobre los cuales están instalados los aspersores.

Para los miembros que aportan pérdidas, podemos escribir en forma general:

$$p_{\text{direc}} = 0,000625 \cdot K_{\text{codo}} \cdot \frac{Q^2}{d_{\text{int}_40}^4} + 3 \cdot 0,000625 \cdot K_{\text{codo}} \cdot \frac{Q^2}{d_{\text{int}_32}^4} + 0,000625 \cdot K_{\text{te}} \cdot \frac{Q_{\text{red}}^2}{d_{\text{int}_32}^4} + 0,000625 \cdot K_{\text{red}} \cdot \frac{Q_{\text{red}}^2}{d_{\text{int}_25}^4}$$

Tomando: $K_{\text{codo}} = 0,93$; $K_{\text{te}} = 2,22$; $K_{\text{red}} = (1 - d_1^2/d_2^2)^2 = (1 - 28^2/21^2)^2 = 0,6$.

Al tener 2 tramos idénticos salientes de la derivación, por la te hacia el tramo de abajo solo entra una mitad del caudal, en concreto: $Q_{\text{red}} = 1590 \text{ L/h}$; mientras que el resto de las piezas atraviesa el caudal total de 3180 L/h. Así que podemos substituir los valores:

$$p_{\text{direc}} = (0,000625 \cdot 0,93 \cdot 3180^2/36^4 + 3 \cdot 0,000625 \cdot 0,93 \cdot 3180^2/28^4 + 0,000625 \cdot 2,22 \cdot 1590^2/28^4 + 0,000625 \cdot 0,6 \cdot 1590^2/21^4) \text{ bar} = 0,04 \text{ bar}$$

2.12.8 Ejemplo B - Pérdidas por la elevación

En este ejemplo tenemos la bomba aspirando de un depósito colocado por debajo de su nivel. La bomba trabajará contra la gravedad, de modo que tendremos otro miembro dentro del grupo de las pérdidas.

Según el esquema, la boca de aspiración está situada 3,2 m más abajo que el resto del sistema. La pérdidas causadas por este desnivel serán:

$$p_{\text{elev}} = 0,0981 \cdot h = (0,0981 \cdot 3,2) \text{ bar} = 0,31 \text{ bar}$$

2.12.9 Ejemplo B - Resumir las pérdidas

Sumaremos las pérdidas evaluadas:

$$p_{\text{later}} + p_{\text{colect}} + p_{\text{gener}} + p_{\text{aspi}} + p_{\text{pie}} + p_{\text{filt}} + p_{\text{direc}} + p_{\text{elev}} = \text{pérdidas}$$

$$0,46 + 0,15 + 0,15 + 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,04 + 0,31 = 1,17 \text{ Bar}$$

Trabajar con el miembro p_{elev} es un poco peculiar, ya que siempre debemos vigilar si la gravedad trabaja a favor o en contra. De esto depende el cómo usaremos el miembro de la elevación: en el caso que el desnivel juegue a nuestro favor, el miembro p_{elev} lo podemos sumar con la presión estática $p_0 + p_{\text{elev}}$; en el caso contrario, tenemos que restarlo $p_0 - p_{\text{elev}}$ o sumarlo con las pérdidas, como acabamos de hacerlo. Si te fijas en la desigualdad, todos los miembros de las pérdidas se restan de la presión estática:

$$p_0 - (p_{\text{sumin}} + p_{\text{cont}} + p_{\text{llave}} + p_{\text{reten}} + p_{\text{gener}} + p_{\text{colect}} + p_{\text{direc}} + p_{\text{later}} + p_{\text{elev}}) \geq p_{\text{trabajo}}$$

Para la presión de trabajo hemos escogido un valor de 3,0 bar. Substituyendo los valores:

$$p_0 - 1,17 \text{ bar} \geq 3,0 \text{ bar}$$

$$\text{Y simplificando: } p_0 \geq 4,17 \text{ bar}$$

2.12.10 Ejemplo B - Elección de bomba

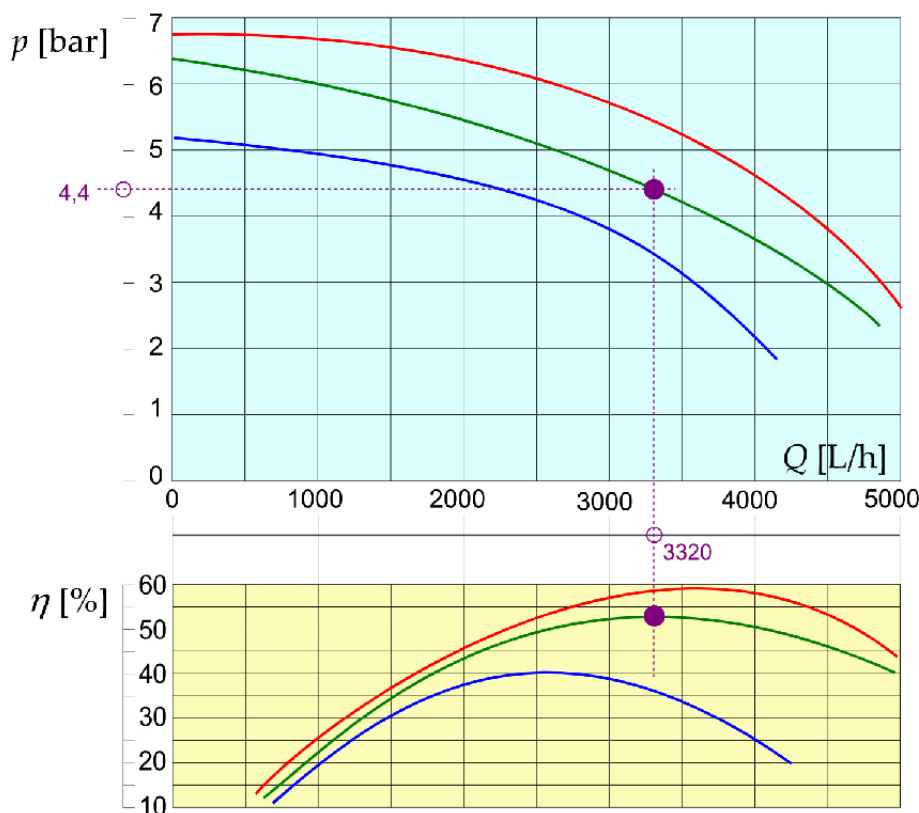
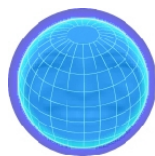
Antes de continuar con la resolución del *Ejemplo B*, debemos profundizar nuestros conocimientos teóricos. A la hora de elegir una bomba para un sistema de riego, debes mirar las características de varias bombas y elegir una con la relación más adecuada entre el caudal, la presión y el rendimiento. Conocemos los valores del caudal nominal del sistema $Q_0 = 3180$ L/h y la presión requerida para él $p_0 \geq 4,17$ bar.

Entre todas las bombas posibles es deseable escoger aquella que tiene la curva de rendimiento en su punto máximo alrededor de los valores de Q_0 y p_0 . Ahora apreciarás el dicho de que una imagen vale más que mil palabras. En la *Gráfica 2* se ven las curvas de 3 bombas diferentes. En la superior hay curvas de la presión p (el eje vertical, expresada en bares) como función del caudal Q (el eje horizontal, en litros por hora). En la parte inferior hay curvas del rendimiento η (el eje vertical, expresado en partes de cien, %) como función del caudal Q .

Lo interesante de las bombas es que con el caudal creciente la presión está bajando. Hasta ahora, todos los miembros de la Condición de funcionamiento (pág. 62) hacían lo contrario (con el caudal creciente las pérdidas de carga subían). Tiene una explicación sencilla: la bomba es un elemento que aporta la energía al sistema y las pérdidas de carga la consumen, salvo el miembro de la elevación gravitatoria, si el signo es positivo, aunque éste último no depende del caudal.

Cada par de curvas del mismo color representa una bomba en concreto. Para los valores del *Ejemplo B* se les ajustan las curvas en verde. Esta bomba trabaja al máximo rendimiento

para el caudal de 3320 L/h (lectura del valor en color morado en el eje horizontal). Una vez obtenido el valor del caudal, buscamos la presión correspondiente a éste. Hay unos segmentos morados que explican cómo se hace, así puedes leer la presión de 4,4 bar. ¡Es genial! Los valores del diseño (3180 L/h y 4,17 bar) están muy cerca del *punto de oro* de la bomba escogida. Si me permites esta expresión, aquí está la clave de cómo **ahorrar mucha energía**.



Gráfica 2: Curvas características de bombas, búsqueda del punto de trabajo óptimo

Ahora bien, si te fijas en la curva del rendimiento, la bomba para este sector trabajará a más del 52 % de rendimiento, que a su vez es su límite. Las bombas eléctricas son dos máquinas en una, con lo cual pierde bastante energía sin más.

Pero siempre me pregunto: «¿Porqué no dejar trabajar a las máquinas en el régimen con menores pérdidas posibles?» Mirando en la gráfica verde de nuevo: si conectáramos esta bomba a un sector que necesitaría solamente 1500 L/h, la bomba trabajaría a tan solo el 35 % de rendimiento. «¿Puedes permitirte el lujo de no aprovechar el pleno rendimiento y malgastar la energía?» La diferencia entre los rendimientos de 52 % – 35 % = 17 % puede engañar ya que no se calcula así. Para calcular cuanta energía más gastarías con ese cambio deberías relacionar los rendimientos de otra manera, 52 % dividido por 35 % = 1,5 veces, que serían el **50 % más!**

2.12.11 Ejemplo B - Conclusión

Dado que la cuestión de la bomba ya la tenemos resuelta y la condición $p_0 \geq 4,17$ bar cumplida (incluso la tenemos ligeramente mayor), podemos reflexionar un poco sobre los resultados. Otra vez volvemos con la curva de la bomba. Para el caudal del sector (3180 L/h) la bomba genera una presión algo mayor, de unos 4,53 bar. «¿Cómo salir de ésta?» Podrías plantearte hacer otra iteración con nuevos valores, esta vez más precisos. Primero, establecer la nueva presión de trabajo de los aspersores (subir en la *Tabla 47* de rendimientos al 3,5 bar), y repetir los cálculos con sus nuevos caudales más altos para todas las pérdidas de carga. «¿Con qué te vas a encontrar?»

Para ahorrar tu tiempo, hice el cálculo por ti. Escogí el valor de la presión de trabajo en los aspersores de 3,5 bar. El caudal total resultante es de 3420 L/h y las pérdidas de carga totales son de 1,31 bar. Así que la condición será $p_0 \geq 4,81$ bar. La característica de la bomba dice que para el caudal de 3420 L/h se genera una presión de 4,33 bar. La bomba no da a basto para abastecer la presión suficiente para el caudal mencionado. En esta iteración nos hemos pasado con las pérdidas. La respuesta es que en la práctica el equilibrio del sistema se establece *siempre* por sí mismo y lo más probable será que la presión de trabajo en los aspersores se sitúe en algún punto entre 3,0 y 3,5 bar.

Se pueden seguir haciendo más y más iteraciones e intentar acercarnos al límite para lograr la igualdad entre la presión de la bomba y las pérdidas, pero tienes que extrapolar los caudales de los aspersores que no aparecen en las tablas para las presiones intermedias. En el *Tercer Capítulo* aprenderás (si quieres) a hacer un cálculo directo sin iteraciones. De momento voy a hacer otra iteración por ti, escogiendo como presión de trabajo un valor de 3,25 bar. El caudal resultante es de 3300 L/h y las pérdidas de carga totales son de 1,26 bar. Así que la condición será $p_0 \geq 4,51$ bar. Sin embargo, la característica de la bomba dice que para este caudal se genera una presión de 4,43 bar. Así que todavía tenemos $p_0 < 4,51$ bar (ligeramente menor), pero ya estamos muy cerca.

Nota: Si volvemos a mirar el esquema (*Imagen 91*), podemos encontrar que tenemos un poco de «reserva en la presión hidrostática» suponiendo que el nivel de agua en el depósito esté algo por encima de la boca de aspiración. De hecho, los 0,14 bar que faltan para la igualdad, los podemos ganar manteniendo el nivel del agua 1,4 m por encima de la boca de aspiración, ya que $p_{\text{elev}} = 0,0981 \cdot h = (0,0981 \cdot 1,4) \text{ bar} = 0,14 \text{ bar}$.

Igual podemos hacer otra iteración. Por ejemplo, la haremos para la presión de trabajo de 3,15 bar en los aspersores. El caudal resultante total es de 3250 L/h y las pérdidas de carga totales son de 1,24 bar. Así que la condición será $p_0 \geq 4,39$ bar. La característica de la bomba dice que para este caudal se genera una presión de 4,47 bar. Así que cumplimos $p_0 \geq 4,39$ bar (otra vez es ligeramente mayor). En este punto no hace falta seguir con las iteraciones y podemos considerar resuelto este diseño.

Pero si aun tienes ganas de continuar, en las dos últimas iteraciones estamos a +0,08 y -0,08 bar de la p_0 . Lo que puedes intentar es repetir la iteración con la presión de trabajo de 3,2 bar, para situarse en medio de esos límites.

Para una mayor transparencia resumimos todas las iteraciones en la *Tabla 52*.

Presión de trabajo de los aspersores [bar]	Caudal del ramal 1 [L/h]	Caudal total [L/h]	Pérdidas totales [bar]	Condición de funcionamiento	Presión de la bomba p_{bomba} [bar]	Diferencia $(p_{bomba} - p_0)$ [bar]
3,0	1590	3180	1,17	$p_0 \geq 4,17$ bar	4,53	+0,36
3,5	1710	3420	1,31	$p_0 \geq 4,81$ bar	4,33	- 0,48
3,25	1650	3300	1,26	$p_0 \geq 4,51$ bar	4,43	- 0,08
3,15	1625	3250	1,24	$p_0 \geq 4,39$ bar	4,47	+0,08

Tabla 52: Ejemplo B – Resumen de iteraciones para diferentes presiones de trabajo en los emisores

2.13 Aplicación de la Condición. Ejemplo C – Sector de goteo

Ampliaremos el jardín del *Ejemplo B* y aprovecharemos la instalación (existente) de la bomba. El nuevo rincón del jardín será cubierto por plantas tapizantes sembradas en un talud. El sector será de goteo para no malgastar agua y no perjudicar a las plantas. Para poder visualizar la situación nos servirá la ilustración de la *Imagen 92*. La superficie a cubrir tiene 300 m cuadrados y el talud tiene desnivel de 3,5 m.



Imagen 92: Ejemplo C – Talud de plantas tapizantes con tuberías de goteros integrados

Para regar plantas tapizantes es muy conveniente emplear una tubería de goteros integrados con la distancia entre goteros igual que la separación entre plantas, además, es muy práctico colocar la tubería según el diseño y luego sembrar las plantas cerca de los goteros (en taludes por debajo de ellos). Así conseguiremos un ahorro de agua adicional y frenaremos el crecimiento de malas hierbas, ya que no harán falta tiempos largos para mojar toda la superficie. Por cierto, los tubos de goteo van en paralelo con las líneas de contorno del terreno.

En este ejemplo supondremos que las plantas están separadas 0,5 m entre sí en ambas direcciones. Así que utilizaremos una tubería con la separación entre goteros de 0,5 m. La separación entre filas de tubos será también de 0,5 m. En la *Imagen 93* se ilustran las dimensiones mencionadas. Para cubrir los 10 m en dirección vertical, necesitaremos 20 filas de tubería. Para conseguir más equilibrio en el riego, las plantas y los goteros, las podemos colocar en ajedrez, alternando la posición de los goteros (como se ve en la parte baja de la imagen – las plantas de color verde gris).

Las presiones altas en los sistemas de goteo suelen aparecer cuando los sectores son pequeños, de poco caudal. Según las curvas características, las bombas para caudales bajos generan presiones altas. Para dar un ejemplo, hablaremos de la bomba empleada en el sector que acabamos de resolver. Si el sector tuviera un consumo de 1000 L/h, la presión en la bomba subiría a un valor de 6 bar; aunque las pérdidas absorbiesen una parte de esa presión, en los goteros quedaría más de 4 bar y aparecerían efectos adversos. Intentaremos prevenir estas situaciones con un buen diseño. Nota: El empleo de reductores de presión puede ayudar a reducirla, pero también puede desembocar en un despilfarro de energía si no se utilizan con razón (más sobre los reductores localizarás en la pág. 234).

Por último, el cálculo para los emisores límites (más desfavorecido y beneficiado) se emplea en los sistemas de difusores y aspersores, sobre todo cuando existe un riesgo de presión muy elevada en los primeros emisores, de hecho es imprescindible en el diseño profesional.

2.14 Solución gráfica de un sistema de riego

En muchas situaciones y para cierto tipo de personas puede resultar más cómodo dibujar en vez de calcular y por otro lado, siempre es útil para una mejor comprensión del problema. Por eso dibujaremos una solución gráfica de un ejemplo sencillo, de un solo aspersor pero de caudal elevado. Primero tenemos que hacer un esquema del sistema en forma de tabla colocando todos sus elementos en una línea hasta el último punto, que será el emisor (en su caso el más desfavorecido). En el caso de bifurcaciones es conveniente apuntar los caudales que atraviesan los elementos cuando cambia su magnitud.

En el esquema de la *Imagen 96* (pág. 103) se ve un aspersor de gran alcance, tipo campo de golf. Fíjate ahora en sus prestaciones, que aparecen a la derecha, justamente por debajo de la imagen del aspersor. Dados sus caudales elevados, nos olvidaremos de conectar ese tipo de aspersores utilizando collarines, en este caso usaremos una conexión directa a través de un codo mixto (tubo – rosca) en el final de la tubería.

La presión estática disponible en la entrada al sistema es de $p_0 = 4,2$ bar y para el punto de trabajo del aspersor hemos escogido la presión $p_{\text{trabajo}} = 3,5$ bar y el caudal de 2990 L/h.

Es bueno distinguir los miembros del gráfico con diferentes colores. Concretamente el azul representa la presión disponible que queda en cada punto del sistema, el verde representa las aportaciones al sistema (por la elevación gravitatoria en este caso) y el rojo está reservado para las pérdidas, salvo la última columna naranja que es la presión útil aprovechable y sirve para que el aspersor haga su trabajo.

La presión de trabajo de los aspersores (y los difusores) es más elevada para los de gran alcance. En ocasiones es útil comparar la presión de trabajo con el resto de las pérdidas. En este caso particular se aprovecha 3,50 bar y se pierde 1,10 bar. En el *Tercer Capítulo* analizaremos posibilidades para reducir las pérdidas «malas» (pág. 198).

Las piezas que causan pérdidas de poca importancia (como las válvulas y las tes) no vamos a reflejarlas en la gráfica ya que al ser tan pequeñas apenas se reconocerían en ella. Eso sí, conviene que al final de la gráfica nos quede todavía algo de la presión disponible, en este caso nos queda 0,10 bar.

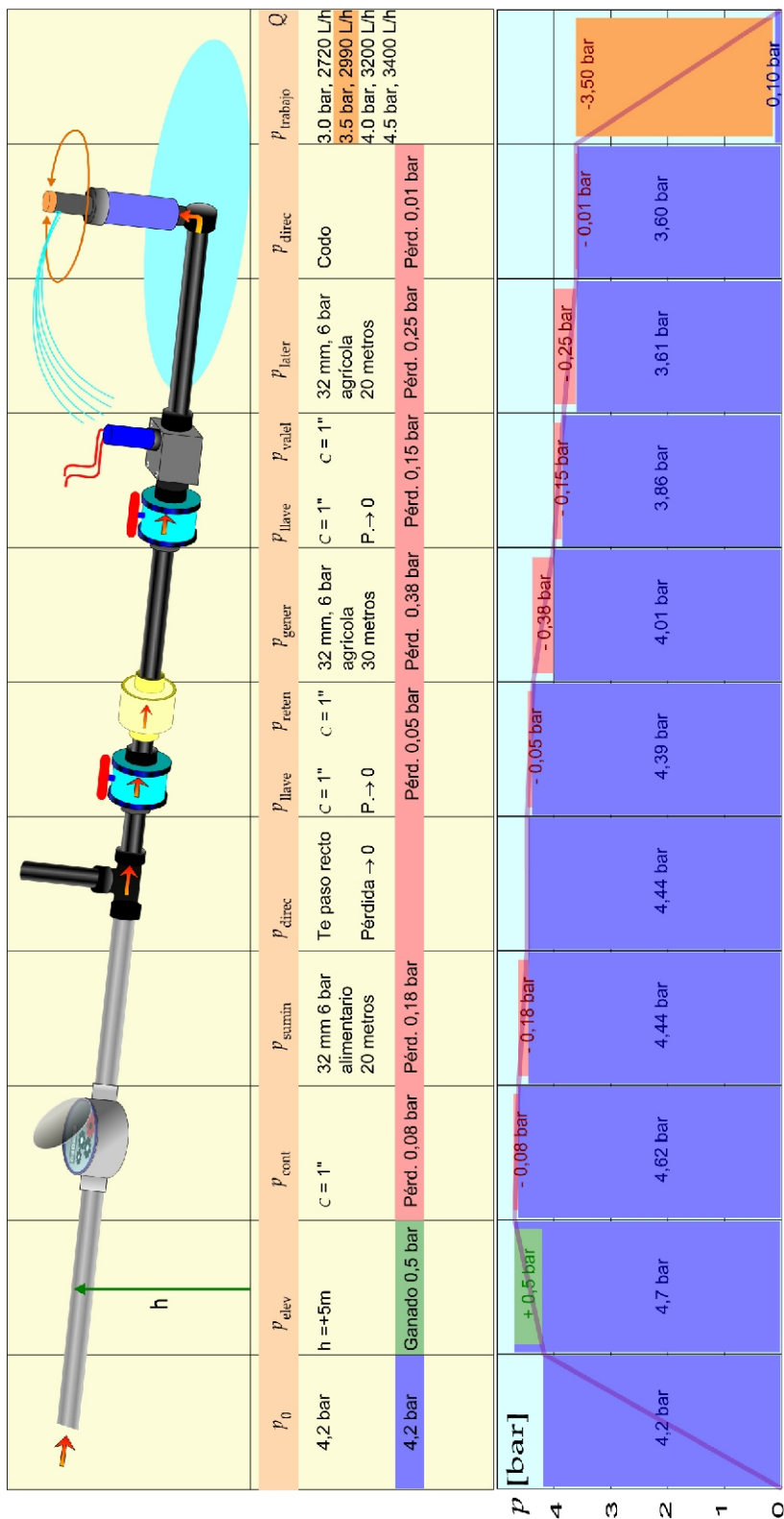


Imagen 96: Solución gráfica de línea de riego, ejemplo de un aspersor con un suministro de la calle

Como verás en el *Tercer Capítulo* en la sección *Ecuación de funcionamiento* (pág. 141), al final no quedará en realidad nada, es decir, lo que entra en el sistema debe salir o consumirse en él. La presión disponible en la entrada del sistema se absorbe por completo a lo largo de la línea de riego y se quedará en cero en su salida.

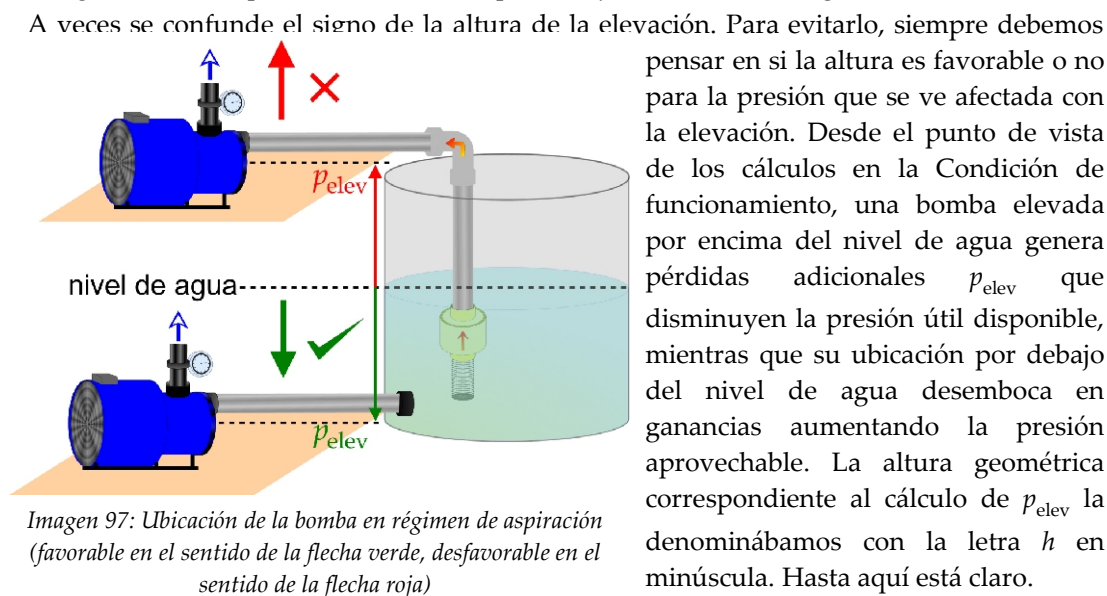
El gráfico se puede hacer también de otra manera: subiendo o bajando en el eje de presión proporcionalmente a las ganancias o pérdidas de presión, lo refleja la línea magenta.

2.15 Consejos sobre bombas

2.15.1 Altura de aspiración

A veces ocurre que las bombas no funcionan de manera satisfactoria. Intentemos desglosar y explicar algunos fallos comunes en el diseño y las instalaciones.

Generalmente, para las bombas es más fácil empujar el agua que aspirarla, por ello las sumergidas trabajan mejor que las de la superficie. Si tienes que instalar una bomba normal (no sumergible) por encima del nivel del agua, procura reducir su altura al mínimo. Sin embargo, si tienes la posibilidad, colocala por debajo de ese nivel (*Imagen 97*).



pensar en si la altura es favorable o no para la presión que se ve afectada con la elevación. Desde el punto de vista de los cálculos en la Condición de funcionamiento, una bomba elevada por encima del nivel de agua genera pérdidas adicionales p_{elev} que disminuyen la presión útil disponible, mientras que su ubicación por debajo del nivel de agua desemboca en ganancias aumentando la presión aprovechable. La altura geométrica correspondiente al cálculo de p_{elev} la denominábamos con la letra h en minúscula. Hasta aquí está claro.

Pero el problema de los signos + y – suele surgir cuando se hacen consideraciones únicamente sobre el conjunto de una bomba y la tubería de aspiración. En este caso y solo en éste, se recomienda respetar lo que viene a continuación. Los fabricantes de bombas adjuntan una serie de curvas para cada modelo. En el *Ejemplo B* (*Gráfica 2*, pág. 91) vimos curvas de presión versus caudal y rendimiento versus caudal de 3 bombas distintas.

En el caso de las bombas que pueden aspirar por encima del nivel del agua, sus curvas vienen acompañadas con otra característica: la del $NPSH_r$ versus caudal. El $NPSH$ (Net Positive Suction Head) o la ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) dice como de buena es una bomba en aspirar si la colocamos por encima del nivel del agua. La pequeña r en el subíndice significa requerida. El $NPSH$ suele expresarse en metros.

3 TERCER CAPÍTULO – DISEÑADORES

Bienvenido seas si eres un diseñador o un aficionado con mucha paciencia que ha logrado llegar hasta aquí. La meta del *Tercer Capítulo* es aprender a orientarse en cualquier situación que te puedas encontrar diseñando los sistemas de riego. El mayor empeño se ha puesto en un diseño moderno que pide la época, es decir, el diseño ahorrador de energía y agua. Los métodos sobre como conseguirlo se presentan en forma de minimizar los costes, ya que esto es lo que les gusta escuchar a muchos. Sin embargo, de paso se beneficiará también a la Tierra y a las próximas generaciones. Es muy interesante saber que para elaborar 1 kWh de energía eléctrica se suelta a la atmósfera entre 350 y 400 gramos de CO_2 así que la energía más ecológica será la que no gastaremos.

Debido a que hoy en día casi todo el mundo dispone de un ordenador, he decidido minimizar la cantidad de tablas y ábacos con descripciones de las pérdidas de carga de los componentes de riego. Por otra parte, se maximizó la cantidad de fórmulas que permiten evaluar esas pérdidas, con lo cual se consiguió reducir el tamaño del libro y ahorrar papel. En cuanto a los cálculos será más que suficiente si dominas algún programa de hojas de cálculo, de modo que podrás crear tus propias tablas de las fórmulas, si es que las necesitas. A principio del capítulo ampliaremos el bote de las fórmulas y después las resumiremos todas junto con las mencionadas en el *Segundo Capítulo*. Hablaremos también de temas que pueden parecer marginales, aunque según mi opinión no lo son, por lo que intentaré convencerte de ello.

3.1 Sistemas con filtración de agua. Fertilización

El agua no siempre viene limpia o, mejor dicho, siempre lleva algo consigo. Son minerales nanoscópicos disueltos, pero también partículas de tamaños mayores. Algunos de ellos son buenos para las plantas, pero si sedimentan en los sistemas de riego provocan molestias. Las partículas de tierra, las algas o los granos de arena pueden causar problemas serios debido a la erosión y obstrucción de los elementos. Si no se eliminan antes de que entren al sistema nos esperan tareas laboriosas de mantenimiento como, por ejemplo, limpiar o cambiar las electroválvulas, cambiar las toberas de los emisores, lavar a menudo o recambiar los tubos de goteo, reemplazar bombas quemadas...

Para prevenir estas situaciones es recomendable tener una muestra del agua, antes de confeccionar el diseño. Si a una simple vista podemos reconocer la suciedad o hasta se han sufrido averías en casa (un calentador de agua que se rompe justo un día antes de terminar su garantía, grifos que se cambian cada año, inodoros rojizos...), conviene hacer

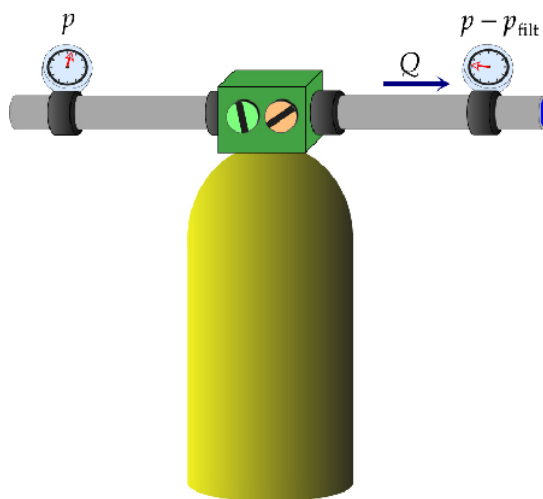


Imagen 109: Vigilado de las pérdidas de carga en un filtro – indicador del nivel de ensuciado

Imagén 109: Vigilado de las pérdidas de carga en un filtro – indicador del nivel de ensuciado

un análisis microscópico para medir el tamaño de las partículas disueltas. A partir de aquí, ya podemos diseñar el sistema de riego en el cual intercalaremos algún tipo de filtro. Siempre es mucho mejor saberlo al principio, porque cualquier filtro es un obstáculo adicional que causará pérdidas de carga (a veces) importantes y lo tendremos en cuenta a la hora de elegir la bomba.

Los filtros servirán para captar las partículas no deseadas, pero claro está, que pasado un tiempo cualquier filtro llevará dentro tanta suciedad que necesitará un cambio o una limpieza según el tamaño y el tipo.

A groso modo, el filtro consiste en un elemento filtrante (la parte captadora de la suciedad) y una carcasa, dentro de la cual se ubica el elemento filtrante. También tiene conexiones para tuberías en la entrada y la salida. Existen muchos diseños de carcasas y otros tantos tipos de elementos filtrantes, aquí mencionaremos solo aquéllos que se usan habitualmente en riegos.

Luego debemos encontrar un lugar para el filtro, que puede ser en la tubería de aspiración de la bomba, de hecho ya hemos mencionado uno en el *Segundo Capítulo (Ejemplo B, pág. 89)*: era un prefiltro de malla instalado por debajo de la válvula de pie; otro lugar habitual es en la tubería de impulsión. Sin embargo, para los sistemas donde el agua entra primero en un depósito (aljibe), lo más conveniente será instalar el filtro en la tubería del rellenado, es decir, filtrar el agua antes de que entre en el aljibe.

Según el sistema de limpieza, podemos clasificar los filtros como manuales y automáticos. Los primeros necesitan una atención frecuente, su limpieza se hace a mano y son mucho más económicos que los segundos, que llevan dispositivos controladores del lavado automático. Sin embargo, también los automáticos requieren cierto nivel de atención.

Pongas el filtro que pongas, es aconsejable asignarle dos manómetros, uno antes y otro después del filtro, como se ve en la *Imagen 109*. A simple vista verás qué pérdida de carga se produce en el filtro. Tendrás que apuntar un primer valor de referencia para el filtro limpio, será la diferencia de los valores, es decir $(p - p_{\text{filt}}) - p = p_{\text{filt}}$. La diferencia entre las presiones indicadas por los manómetros irá subiendo gradualmente con la suciedad acumulada y cuando creas que el filtro ya está suficientemente sucio, apuntarás un segundo valor de referencia (suele ser el doble, pero depende del tipo de la filtración). Los valores de los manómetros se apuntan siempre con el riego en marcha ya que se trata de la presión dinámica (en régimen estático deberían mostrar el mismo valor).

El mantenimiento consistirá en limpiar el filtro cada vez que se exceda el segundo valor. Al cabo de un tiempo (puede durar meses o años), te darás cuenta de que por mucho que laves el filtro, los valores de la diferencia de presiones en el estado limpio ya no querrán volver al valor original. Esto indicará que ha llegado la hora de cambiar el elemento filtrante.

Aquí debo hacer una pequeña advertencia: si te decides a poner un filtro, el mantenimiento del sistema en sí se complica y ya no podrás dejar el riego sin atender meses o semanas. Con los filtros experimenté muchas situaciones espectaculares como: fugas importantes de agua porque se rompió la carcasa de un filtro mal tratado; un pequeño filtro de malla instalado en la tubería general en un hueco por debajo de la casa (donde nadie entra y se olvidaron que el filtro existía), éste reventó disparado como un misil y el agua inundó el sótano; un jardín casi seco porque el filtro se ensució y llegó a crear tantas pérdidas de carga que absorbió casi por completo la potencia de la bomba; varias bombas quemadas...

ocurren a nuestro alrededor la naturaleza siempre alcanza un equilibrio, el sistema de riego no es ninguna excepción. Es decir, si hay más energía disponible en el lado izquierdo de la que se necesitase para cumplir la Ecuación, se consumirá también la energía «sobrante» aumentando el caudal (con lo que aumentarán las pérdidas), los emisores consumirán más presión de trabajo y tirarán el agua a mayor distancia. Análogamente, si hay menos energía aportada en el lado izquierdo de la que se necesitara para cumplir la Ecuación, el caudal del sistema se reducirá solo, con lo cual bajarán las pérdidas de carga (y la presión de trabajo) del lado derecho y los emisores tirarán el agua más cerca. Así, siempre se establecerá la igualdad.

En los casos en que la energía disponible en el lado izquierdo sea muy pequeña, el caudal de los emisores se reducirá bruscamente hasta que éstos dejen de funcionar correctamente. Pero aun así el equilibrio sigue conservándose.

La Ecuación de este modelo no incorpora la influencia de la elasticidad de las tuberías aunque, en ocasiones, habría que estudiar este efecto, debido a que puede absorber una parte de la energía disponible de la presión y entregarla al sistema posteriormente (detalles, pág. 306).

En este capítulo buscaremos la solución de la Ecuación para varios casos particulares. Sin embargo, primero deberíamos aprender cómo construir la Ecuación para sistemas concretos.

3.4 Fórmulas para pérdidas de carga en elementos hidráulicos

Dentro del libro he intentado evitar la descripción de la física de fluidos teórica. A parte de que no se me da bien, hay muchas diferencias entre la teoría y la realidad. Las fórmulas teóricas pueden parecer bellas, ya que tratan líquidos y sólidos ideales y tipos de flujo estables. Sin embargo, el agua solo es aproximadamente un líquido ideal, los tubos son elásticos y tienen superficies rugosas y las fórmulas no pueden describir el comportamiento de los quintillones de moléculas.

La práctica requiere la búsqueda de los modelos numéricos en la mayoría de las situaciones, con lo que aparecen fórmulas empíricas que no son nada bellas, pero mientras den buenos resultados serán útiles. Así que es probable que cada elemento concreto de un fabricante particular necesite su propia fórmula particular. Aunque tan solo nos limitaremos a las fórmulas para evaluar las pérdidas de carga, habrá muy pocos elementos cuyas pérdidas sean proporcionales al cuadrado del caudal (que es lo que predice la teoría elemental). El exponente se acerca a 2 para flujos turbulentos, mientras que para flujos laminares se acerca a 1. Para muchos elementos reales se sitúa entre estos valores límites.

Una de las cosas buenas de nuestra época son los ordenadores, ya que nos ayudan a encontrar raíces de ecuaciones tan complejas de las que ni siquiera soñaríamos tener soluciones analíticas. Si no dispones de un ordenador, entonces una calculadora gráfica (o por lo menos científica) sería de gran ayuda, aunque las soluciones gráficas de la Ecuación de funcionamiento son más demostrativas que las numéricas.

A continuación, comenzaremos a resumir las fórmulas explicadas en detalle a lo largo del *Segundo Capítulo*, pero también deduciremos algunas nuevas para obtener un resumen más completo. Para la deducción de las fórmulas emplearemos métodos sencillos de tabulación de valores empíricos. Primero desglosaremos las fórmulas bien conocidas, de hecho, algunas

se emplean hace más de 100 años. Después nos fijaremos en aquéllas que es necesario tabular. En todas las fórmulas utilizaremos siempre las mismas unidades:

- p_i – las pérdidas de presión de cualquier elemento en bares [bar]
- L – la longitud de la tubería en metros [m], Q – el caudal en litros por hora [L/h]
- d_{int} – el diámetro interior de la tubería en milímetros [mm]

3.4.1 Fórmulas relacionadas con la gravedad terrestre

Se puede decir que es la fórmula más sencilla y más exacta de todas. Se deduce de la definición de la presión hidrostática.

Tipo de elevación	Aporte de energía	Aporte de energía (fórmula más exacta)
Positiva, a favor del sistema	$p_{elev} = 0,0981 \cdot h$	$p_{elev} = 0,090665 \cdot h$
Negativa, en contra del sistema	$p_{elev} = -0,0981 \cdot h$	$p_{elev} = -0,090665 \cdot h$
h – el desnivel expresado en metros [m], también se denomina como la altura geométrica		

Tabla 69: Fórmulas para evaluar la presión hidrostática

3.4.2 Fórmulas relacionadas con tuberías

Han sido deducidas de las teorías de Manning, Hazen–Williams y Veronesse–Datei.

Material de la tubería	Pérdidas de carga
Polietileno	$p_{TUBO} = 0,05128 \cdot L \cdot Q^2 / d_{int}^{5,333}$
PVC	$p_{TUBO} = 0,04513 \cdot L \cdot Q^2 / d_{int}^{5,333}$
PVC (otra fórmula)	$p_{TUBO} = 0,05067 \cdot L \cdot Q^{1,8} / d_{int}^{4,8}$
Cobre	$p_{TUBO} = 0,03329 \cdot L \cdot Q^{1,85} / d_{int}^{4,87}$
Acero	$p_{TUBO} = 0,06186 \cdot L \cdot Q^{1,85} / d_{int}^{4,87}$
P.E. reticulado (tubo multi-capa forjado con aluminio y por fuera con P.E. de alta densidad)*	$p_{TUBO} = 0,0459 \cdot L \cdot Q^{1,783} / d_{int}^{4,845}$
* se trata de un material empleado en instalaciones de fontanería	

Tabla 70: Fórmulas para evaluar las pérdidas de carga en tuberías (información sobre sus limitaciones, pág. 303)

Claro está que unos tubos causan pérdidas mayores que otros. «¿Cómo podemos comparar las pérdidas para diferentes materiales si las fórmulas llevan exponentes tan raros?» Quizás dibujando unas curvas como las de la Gráfica 6. Se escogieron un diámetro interior $d_{int} = 26$ mm y longitud de 100 m y se construyeron curvas según todas esas fórmulas de la Tabla 70. Cada material se representa por un color distinto.

«¿Y qué podemos leer de las gráficas?» Es obvio que el acero pierde mucha más presión que los demás tubos, que tienen un comportamiento parecido para caudales pequeños (por debajo de 2900 L/h), para los cuales da casi lo mismo el material que escojamos. Sin embargo, para instalaciones con caudales elevados debemos considerar el material que produce pérdidas de carga menores, teniendo en cuenta el ahorro de energía y el golpe de ariete (pág. 110).

$$\text{PVC: } p_N = 6 \cdot (1,5 - 0,02 \cdot 42) = \underline{3,96 \text{ bar}}$$

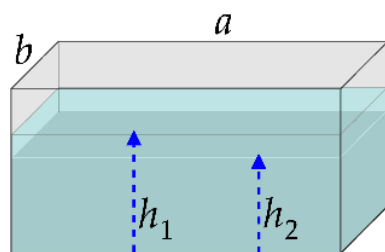
$$\text{P.E.: } p_N = 6 \cdot 2,5 \cdot e^{-0,045 \cdot 42} = \underline{2,27 \text{ bar!}}$$

Si no respetas los límites expuestos aquí, se acortará la vida útil de las tuberías: éstas pueden deformarse (de manera irreversible aumenta su diámetro y disminuye el grosor de la pared), suelen aparecer grietas y, en consecuencia, fugas de agua. Es difícil reparar esas fugas por el aumento del diámetro, ya que las uniones no serán compatibles.

Aquí únicamente hemos analizado el tema de las tuberías. Algo similar es aplicable para otros elementos de los sistemas, por ejemplo: las electroválvulas, válvulas de plástico, piezas de conexión rápida, filtros, etc. Para más información sobre el tema de cómo se ven esos elementos afectados por el aumento de la temperatura, deberías consultar sus fichas técnicas.

3.11 Gestión del agua. Tasa de precipitación

Antes de empezar con fórmulas, debemos saber medir, leer o estimar ciertas cuantías. Si has hecho un diseño para cada sector, conocerás los caudales correspondientes a cada uno (Q_i). Si examinas un sistema existente, puedes medir su caudal. La medición es recomendable también en casos de instalaciones nuevas, hechas a base de un diseño, así podrás justificar los valores de éste.



«¿Cómo medir el caudal?» A parte de lo dicho en el *Primer Capítulo* (pág. 27), examinaremos ahora instalaciones con depósitos y aljibes. Lo más sencillo es medir 2 alturas del nivel del agua en el depósito (en el comienzo y al final del ciclo de riego, *Imagen 121*). Procura bloquear posibles sistemas del rellenado antes de hacer las mediciones y, obviamente, deberás medir las dimensiones del depósito. Para evaluar el volumen consumido de agua en un ciclo emplearemos la siguiente fórmula:

Imagen 121: Dimensiones de un aljibe y cambio de su nivel debido al riego

$$V_{\text{riego}} = 1000 \cdot a \cdot b \cdot (h_1 - h_2)$$

V_{riego} – el volumen de agua consumido [L]; a, b – el largo y el ancho del depósito en metros

h_1 – la altura del agua al comenzar [m], h_2 – la altura del agua al terminar el riego [m]

1000 – constante de la conversión de m^3 en litros

También debes medir el tiempo que dura el ciclo de riego o simplemente leer un valor entre los tiempos de riego ajustados en el programador y convertirlo en horas. El caudal será:

$$Q = V_{\text{riego}} / t_h$$

Q – el caudal medio [L/h], V_{riego} – el volumen de agua consumido [L]

t_h – la duración del riego (en horas y/o sus fracciones decimales)

Si has medido el tiempo en minutos para convertirlo en horas usarás la conversión:

$$t_h = t_{\text{min}} / 60, \text{ donde } t_{\text{min}} \text{ – duración del riego (en minutos y/o sus fracciones decimales)}$$

Repetirás las mediciones para cada sector y obtendrás una serie completa de valores Q_i .

Un parámetro muy útil es la tasa de precipitación. Se trata literalmente de la celeridad de la «lluvia» proporcionada por el riego, o sea, como de rápido cae el agua sobre un área dada. En otras palabras, es el volumen de agua que se reparte por un metro cuadrado del jardín en una hora. Se puede calcular como:

$$\tau = Q/A$$

τ – la tasa de precipitación en $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ (o en mm/h), Q – el caudal medio de riego [L/h]
 A – el área de la zona de jardín (a regar) en metros cuadrados

Puedes obtener el área a regar a partir de un esquema del diseño, o bien tomando las dimensiones en el terreno y calculando las áreas del césped cubiertas por los aspersores (o difusores), o en el caso de goteo, las áreas cubiertas por las tuberías de goteo.

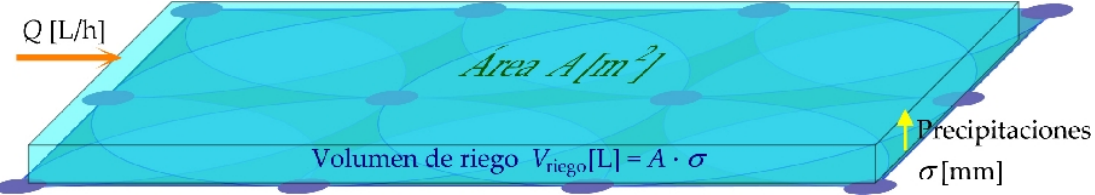


Imagen 122: Magnitudes de importancia relacionadas con las precipitaciones (analogía con la cantidad de lluvia caída sobre un área)

Conociendo la tasa de precipitación y el tiempo de riego, podemos calcular otra magnitud importante: las precipitaciones (o cantidad de las precipitaciones), que es el volumen total de agua repartido por un metro cuadrado durante el ciclo de riego (Imagen 122):

$$\sigma = \tau \cdot t_h$$

σ – precipitaciones [L/m^2](también en mm), τ – la tasa [mm/h] (o en $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$)
 t_h – duración del riego (en horas o sus fracciones)

Para cualquier jardín es vital conocer la cantidad de agua que necesita en cada época del año. Es más, deberíamos conocerlo antes de sembrar el jardín.

Ya sabes que en función del caudal de riego (que a su vez depende del tipo de emisores), los sectores se regarán en periodos de tiempo más cortos o más largos.

Conoceremos ahora necesidades de riego orientativas según el tipo de siembra, ampliando lo dicho en secciones previas (Tabla 7, pág. 13; Tabla 16, pág. 43; Tabla 61, pág. 123). Nos concentraremos en los datos de verano para determinar los máximos (Tabla 112). Eso sí, deberás corregirlos según tu zona. Las necesidades varían ya que les afecta la temperatura, el viento, la humedad, la radiación solar, la cantidad de precipitaciones naturales, la tasa de evaporación y, también, la presión atmosférica (que depende de la altitud sobre el mar).

Tipo de siembra:	Césped normal	Césped tipo sequía	Arbustos en plantación densa	Arbustos en plantación abierta
Necesidad de agua [mm/día]	10	5	3	5

Tabla 112: Valores orientativos de necesidades hídricas según el tipo de plantación

Esta nueva magnitud, la necesidad de agua al día, la vamos a denominar como $\mathfrak{N}_D$. La cantidad de las precipitaciones del sistema de riego σ (en un día) debería ser equivalente a la necesidad de agua de las plantas o el césped, es decir, $\sigma \approx \mathfrak{N}_D$; claro está, en el caso de que la supervivencia de tus plantas sea tu deseo.

Conviene evaluar todas esas magnitudes por sectores porque la tasa de precipitaciones variará según el tipo de emisor y la necesidad de agua cambiará según el tipo de plantación. Combinando las fórmulas anteriores, podemos calcular de varias maneras sencillas cuánta agua gastaremos en un área determinada del jardín en un día:

$$V_{\text{riego}} = A \cdot \mathfrak{U}_D = A \cdot \sigma = A \cdot t_h \cdot \tau = A \cdot t_h \cdot Q/A = t_h \cdot Q$$

- V_{riego} – volumen de agua consumido por la zona del jardín en un día [L]

A – área del jardín regada cubierta por el riego [m²]

$\mathfrak{U}_D$ – necesidad de agua en L·m⁻²·d⁻¹, litros por metro cuadrado y día (o en mm/d)

σ – precipitaciones de riego en L/m² (o en milímetros)

τ – tasa de precipitación en mm/h (o en L·h⁻¹·m⁻²)

t_h – duración del riego (en horas o sus fracciones), Q – caudal medio (en L/h)

Hay muchas fórmulas y pocos ejemplos, así que evaluaremos ahora algunas situaciones en concreto. Para mayor comodidad, partiremos de los sectores de los *Ejemplos B* (pág. 86) y *C* (pág. 93). Miraremos las fórmulas desde otro ángulo y nos plantearemos esta pregunta: «¿Qué tiempo deberíamos regar cada uno de los sectores?»

En el *Ejemplo B* teníamos 200 m² de césped, resistente al pisoteo (futbito), tipo sequía. En el cálculo hemos obtenido un valor del caudal de 3250 L/h. En el *Ejemplo C* teníamos 300 m² de plantas tapizantes en plantación tupida. El caudal del sector de goteo era 4560 L/h.

De la última fórmula $A \cdot \mathfrak{U}_D = t_h \cdot Q$ expresaremos el tiempo de riego: $t_h = A \cdot \mathfrak{U}_D / Q$.

Así podemos evaluar varias cuantías. Resumiremos los resultados en la *Tabla 113*.

Sector	A [m ²]	$\mathfrak{U}_D$ [mm·d ⁻¹]	Q [L/h]	t_h [h]	t_m [min]	V [L]	τ [mm·h ⁻¹]	σ [L/m ²]
Césped sequía	200	5	3250	0,3077	18,5	1000	16,25	5
Plantación densa	300	3	4560	0,1974	11,8	900	15,20	3

Tabla 113: Ejemplo de cálculo que relaciona las magnitudes tratadas en estas secciones (para los Ejemplos B y C)

3.11.1 Pluviometría de difusores y aspersores

Como hemos comentado, el tiempo de riego está ligado a la necesidad de agua, en este caso del césped, y también a la habilidad de los emisores para transportar el agua a la superficie regada en un periodo. En la sección anterior se mencionó la siguiente fórmula:

$$\sigma = \tau \cdot t_h$$

σ – precipitaciones de riego en L/m² (o en milímetros)

Pero si nos concentramos en precipitaciones en un día, podemos escribir:

$$\sigma/1 = \mathfrak{U}_D \qquad \mathfrak{U}_D = \tau \cdot t_h$$

- $\mathfrak{U}_D$ – necesidad de agua (en L·m⁻²·d⁻¹, litros por metro cuadrado y día)

τ – tasa de precipitación en mm/h, es la **pluviometría** de los emisores de riego

t_h – duración del riego (en horas o sus fracciones), en un día en este caso

En las tablas de los rendimientos de aspersores y difusores aparecen valores de pluviometrías para 2 tipos de disposición de los emisores: el cuadrado y el triángulo equilátero. En la triangular se consigue mayor uniformidad de cobertura de la superficie regada, aunque requiere emplear más emisores de riego, como veremos a continuación.

Las siguientes fórmulas relacionan la tasa de precipitación con el radio de alcance y el caudal para las dos disposiciones:

$$\tau_{\square} = q_{360^{\circ}}/r^2 \qquad \tau_{\Delta} = 1,1547 \cdot q_{360^{\circ}}/r^2$$

$\tau_{\square}$ – tasa de precipitación, en la disposición cuadrada, en mm/h (o en L·h⁻¹·m⁻²)

τ_{Δ} – tasa de precipitación, en la disposición triangular, en mm/h (o en $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$)

q_{360° – caudal de un emisor con tobera de ángulo 360° [L/h], r – radio de alcance del emisor [m]

1,1547 – constante, sale de la geometría elemental (área de un triángulo), se trata del número $2/\sqrt{3}$

La mayoría de los emisores modernos de riego mantiene la tasa de precipitación uniforme independientemente del ángulo de la tobera, que es muy importante. Solo así podemos combinar las toberas libremente y conseguir una buena uniformidad del riego. Lógicamente, para las esquinas emplearemos las toberas de 90° ; para los laterales, las de 180° y para emisores centrales, las de 360° . A la hora de elegir un difusor, es bueno comprobar, si los caudales cumplen las siguientes relaciones de proporcionalidad, obviamente, para la misma presión de trabajo aplicada:

$$q_{360^\circ} = 1,5 \cdot q_{240^\circ} = 2 \cdot q_{180^\circ} = 3 \cdot q_{120^\circ} = 4 \cdot q_{90^\circ}$$

$$q_{270^\circ} = 0,75 \cdot q_{360^\circ} = 3 \cdot q_{90^\circ}$$

$q_{360^\circ}, q_{270^\circ}, q_{240^\circ}, q_{180^\circ}, q_{120^\circ}, q_{90^\circ}$ – caudales de toberas difusoras para diferentes ángulos de apertura

Las pluviometrías de las toberas difusoras y rotatorias ajustables se suelen publicar en relación al arco de 360° (qué pluviometría tendría la tobera dada abriéndola plenamente a 360°).

En el caso de los aspersores, el tema de los ángulos se soluciona instalando toberas de diferentes orificios y caudales, entre los cuales debemos buscar también cierta uniformidad. Habitualmente, a los aspersores que regarán círculos completos (360°) les asignaremos la tobera con el caudal máximo entre todas. Luego escogeremos toberas para el resto de los ángulos en proporción directa entre los caudales y los supuestos ángulos. En el caso de los aspersores eres tú quien decide qué toberas instalar para cada ángulo.

¡Ojo! En las tablas de rendimientos de los aspersores giratorios encontrarás habitualmente datos de la tasa de precipitación al 50 %, comprendida para medio círculo (180°). Lo de 180° es una consecuencia de que en la mayoría de las aplicaciones los aspersores se instalan en el lateral del césped, donde cubren los 180° . Así se simplifica el cálculo. Sin embargo, las fórmulas de este libro referentes a la pluviometría (tasa de precipitación) generan resultados distintos (la mitad de lo que publican los fabricantes). Estas fórmulas se adaptaron a las pluviometrías al 100 %, por lo que son versátiles y se pueden emplear para todos los tipos de emisores. Si no estás seguro de qué sistema emplea el fabricante, será mejor que calcules los valores de la pluviometría por tu cuenta ya que es muy sencillo.

3.11.2 Cantidad necesaria de emisores

A parte del método para determinar la cantidad de emisores en disposición cuadrada (mencionado en la pág. 59), existen fórmulas más simples para establecer esas cantidades en ambas disposiciones para céspedes de formas cuadradas:

$$N_{\square} = (1 + a/r)^2 \quad N_{\Delta} = 1,1547 \cdot (1 + a/r)^2$$

$N_{\square}, N_{\Delta}$ – cantidades necesarias de emisores en las disposiciones cuadrada y triangular

r – radio de alcance del emisor, (aquí también la separación media entre los emisores)

a – un lado de la superficie considerada (en forma de un cuadrado, *Imagen 123*)

Las fórmulas dan mejores resultados para áreas grandes. A parte de los cuadrados, nos permiten hacer estimaciones rápidas para otras formas. Lo único que debemos hallar es un

4 CUARTO CAPÍTULO – AHORRO DE AGUA Y ENERGÍA

4.1 Uso de aguas recicladas

En muchos municipios, regiones o incluso países enteros es obligatorio reciclar la mayor cantidad de agua posible. Hablaremos de las llamadas aguas grises, que se forman en viviendas y comercios y provienen de los lavabos, duchas, cocinas, lavavajillas o lavadoras. Las aguas procedentes de los inodoros, salvo algunas excepciones, suelen dirigirse a fosas sépticas o canalizaciones públicas.

La limpieza de las aguas grises se suele efectuar en unos depósitos enterrados, depuradoras ecológicas o en unas lagunas con compartimientos en cascada, muchas veces con un aspecto natural (con plantas). Para viviendas pequeñas existen depósitos de tamaños moderados con compartimientos internos para separar las grasas, que se dirigen a fosas sépticas. Los depósitos suelen estar equipados con una bomba aireadora y una fuente de rayos ultravioleta. En todos estos métodos de limpieza se aprovecha un proceso natural de autolimpieza de aguas por bacterias. Esas bacterias «vienen solas» y luego se reproducen, pero también se pueden adquirir e introducir en los depósitos acelerando así su reproducción.

El agua que reciclamos con estos procedimientos no se considera potable. Se puede volver a emplear para los inodoros y sobre todo para el riego de césped y jardines ornamentales. No es aconsejable emplearla para huertos o árboles frutales, debido a su contenido elevado de nitrógeno. El jardín regado con aguas grises de reciclado propio, o proporcionados por una depuradora municipal (muchas veces de forma gratuita), contiene bastante nutrientes, de modo que no se requiere aportar abonos adicionales ya que el verde de las hojas de plantas regadas con aguas grises es muy convincente, en tonos oscuros.

En muchos países existe una normativa que requiere distinguir los emisores de riego que emplean aguas recicladas, lo que sirve para evitar que alguien beba accidentalmente de los emisores de agua no potable. Los aspersores y difusores se enmarcan con tapas de color púrpura, y en el caso de las tuberías de goteo, las propias tuberías se fabrican de plástico en ese color, como se ve en la *Imagen 143*. Hay quien no le gusta ese color demasiado, soy uno de ellos, de modo que si debo colocar esa clase de tubos, lo prefiero hacer en instalación subterránea (pág. 118) o por lo menos cubierto con acolchado (corteza de pino, gravilla...).

Los hogares que decidan emplear las aguas recicladas, en poco tiempo se darán cuenta cómo habrá bajado el recibo del agua. Una familia de 5 miembros puede generar 500 litros de agua reciclada al día, lo que representa 15000 litros al mes. Con el precio de 0,70 €/m³ en un año se puede ahorrar hasta 126 €. En el caso de disponer de un aljibe separado para acumular las aguas recicladas, será casi suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de jardines pequeños (de áreas en torno de 100 m²). A parte, existe otra fuente gratuita, las aguas pluviales, cuyas aplicaciones analizaremos a continuación.

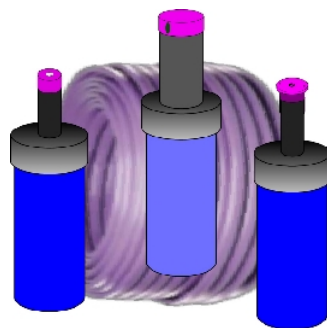


Imagen 143: Reconocimiento, según el color, de emisores destinados para aguas recicladas

4.2 Recogida de aguas pluviales

Utilizar el agua de la lluvia tiene varias ventajas: a parte de ser «gratis» (ojo, en algunos países existen impuestos especiales deducidos sobre el área de la cubierta) no contiene cal, de modo que es ideal para regar, ya que las plantas hasta creen que llueve. Y si la región es libre de lluvias ácidas (causadas por la presencia de industrias químicas), se aprecia como la mejor agua potable.

Captar aguas pluviales requiere tener un tejado con canaletas y bajantes, una terraza o aparcamiento con pendientes y sumideros, pero sobre todo, disponer de un aljibe de un volumen considerable (o de un embalse) y vivir en un clima donde llueva lo suficiente para que la inversión se amortice. Para confeccionar un proyecto y cálculos de ese tipo, puedes aprovechar las fórmulas de la sección *Gestión del agua. Tasa de precipitación* (pág. 190) porque funcionan también con las lluvias, eso sí, lo primero será recopilar los datos climatológicos de la zona, básicamente, las precipitaciones anuales medias, recopiladas durante varias décadas, pero ten cuidado con el cambio climático ya que gradualmente está afectando también estos valores.

Para entender mejor el conjunto del tema, resolveremos el siguiente *ejemplo* simple: un chalet con tejados de 150 m², terrazas y aparcamiento de 200 m², se encuentra en un clima parecido al mediterráneo con precipitaciones anuales medias de 570 mm y una temperatura media anual de 17 °C. Está situado a 50 msnm. La tarea será establecer la capacidad mínima del depósito y calcular el área máxima del jardín que podamos regar sin tener que comprar agua. Primero evaluaremos el volumen de agua que se puede recoger (teóricamente):

$$V_{\text{recog}} = A \cdot \sigma = (150 + 200) \cdot 570 = 199500 \text{ L}$$

σ – precipitaciones [mm] o [L/m²], A – área de captación [m²], V_{recog} – volumen de agua recogida [L]

Debido a que la mayor parte del agua se gastará precisamente en los meses sin lluvias, la solución ideal sería construir un aljibe de 200000 L para depositar toda el agua. Las medidas de un aljibe de ese volumen serían, por ejemplo, de 8 m por 5 m por 5 m, es decir, enorme y costoso. Si optas por construir un embalse (a base de una tela de lago, por ejemplo), deberás asumir la evaporación. Para lograr el dicho volumen necesitaríamos un embalse de 100 m² de área y 2 m de profundidad media. Para evaluar la evaporación, si no la encuentras en fuentes públicas (en algunos países no se publican o no se miden), puedes emplear fórmulas empíricas, muchas veces complicadas, que relacionan la latitud geográfica, la humedad del aire, la velocidad de viento, temperaturas del aire y agua, horas de radiación solar, altitud sobre el nivel de mar... sin embargo, existen fórmulas más sencillas, como es la de Visentini y su aspecto es el siguiente:

$$\varepsilon = 75 \cdot T, \text{ para altitudes menores de 200 msnm}$$

$$\varepsilon = 90 \cdot T, \text{ para altitudes entre 200 y 500 msnm}$$

$$\varepsilon = 90 \cdot T + 300, \text{ para las altitudes mayores de 500 msnm}$$

ε – evaporación media anual del embalse abierto [mm] o [L/m²], T – temperatura media anual [°C]

De modo que del volumen total de agua almacenado en el embalse con una superficie de 100 m² le descontaremos el agua evaporada de la superficie, sin embargo, le sumaremos el agua recogida por la superficie del embalse, ya que ésta también captará las lluvias:

$$V_{\text{recog}} = A \cdot \sigma - A_e \cdot \varepsilon + A_e \cdot \sigma = 350 \cdot 570 - 100 \cdot 75 \cdot 17 + 100 \cdot 570 = 199500 - 127500 + 57000 = 129000 \text{ L}$$

A_e – el área de lámina de agua en el embalse [m^2]

En los meses de verano la evaporación es tremenda, de modo que de los 127500 litros (valores en naranja) la mayoría se esfuma precisamente en el verano, y como de todas formas no llueve, puedes sustancialmente atenuar la evaporación tapando el embalse con una tela. Las telas de PVC dan buenos resultados (también se emplean para tapar piscinas) y de paso reducen el crecimiento de algas.

Finalmente, para estimar el área del jardín que podemos alimentar con el agua recogida, volveremos con el modelo bien conocido, el de los 135 ciclos de riego anuales (pág. 200). Eso sí, nos falta conocer las necesidades hídricas diarias estivales pero supondremos un valor medio (entre el césped y las plantas) en torno de 7 mm/día, con lo que las necesidades anuales serán:

$$\mathcal{U}_A = 135 \cdot \mathcal{U}_D = 135 \cdot 7 = 945 \text{ mm}$$

$\mathcal{U}_A$ – necesidades hídricas anuales [mm], $\mathcal{U}_D$ – necesidades hídricas diarias [mm]

$$A_J = V_{\text{recog}} / \mathcal{U}_A = 199500 / 945 = \underline{211,1 \text{ m}^2}$$

A_J – la máxima área del jardín [m^2] para el volumen de riego anual disponible V_{recog} [L]

Y para el caso del embalse sin tapar, el jardín regado gratuitamente sería más pequeño:

$$A_J = V_{\text{recog}} / \mathcal{U}_D = 129000 / 945 = \underline{136,5 \text{ m}^2}$$

En realidad, este proyecto se puede realizar con un depósito de volumen inferior, pero deberíamos dividir el año en periodos más cortos y hacer cálculos de precipitaciones y de consumo de agua en cada intervalo por separado (es que en este ejemplo se evaluaron solo 2 extremos: el depósito lleno y vacío). Una solución gráfica puede ser de gran ayuda, semejante a la que empleamos para justificar un tamaño del aljibe (*Gráfica 32*, pág. 259).

4.3 Xerojardinería

Hablaremos de un concepto de jardinería que introduce algunas de las ideas recopiladas a lo largo del libro. La xerojardinería apareció en los Estados Unidos en los años 80 del siglo XX. Ya que la palabra *xeros* significa seco, el objetivo principal tiene que ver con el agua: se trata de no gastar más de una cuarta parte del agua que necesita un jardín convencional, es decir, no gastar más de 2 ó 3 L por 1 m^2 en un día, lo que se puede lograr por la actuación en diferentes sentidos, como:

- empleando especies vegetales de necesidades hídricas mínimas (plantas autóctonas de la zona, plantas de rocalla, cactus, plantas suculentas, puedes consultar la especificación de las especies en la Tabla 8, pág. 16)

- reduciendo la evaporación cubriendo la tierra con acolchado y sembrando plantas con separaciones mínimas para que la tierra no reciba la radiación solar

- empleando exclusivamente el riego por goteo

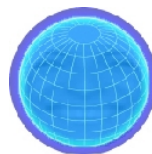
- limitando las áreas del césped, o mejor, eliminándolo por completo y reemplazándolo por plantas tapizantes que pueden ser parecidas al césped pero con necesidades hídricas mucho menores, aunque no serán muy resistentes al pisoteo

A parte del ahorro de agua, la filosofía de la xerojardinería se mezcla con el concepto de la jardinería ecológica y aporta más ideas:

aporta a la atmósfera gases efecto invernadero, pero esto ocurre indiferentemente si reciclamos las aguas o no, de manera que aprovechándolas elegimos un mal menor.

4.6 Métodos de ahorro de agua – resumen

En cuanto a los métodos de ahorro, a veces es difícil separar unos que ahorran agua, de otros que ahorran energía. En ocasiones, ahorrar uno puede provocar un derroche del otro. Pero como ya sabes analizar los sistemas de riego desde muchos puntos de vista, siempre podrás elegir la solución óptima. Precisamente eso era lo que deseaba al escribir el libro.



La siguiente lista resume las tesis básicas de economizar el agua.

- Modificar la textura de la tierra, en el caso de que ésta sea arenosa.
- Utilizar plantas con bajas necesidades hídricas.
- Agrupar plantas con necesidades hídricas similares.
- Sembrar plantas tupidas o utilizar acolchado para cubrir la tierra.
- Reducir áreas cubiertas por césped.
- Escoger un tipo de césped resistente a la sequía.
- Emplear el riego por goteo (si puede ser, también para el césped).
- Ajustar con frecuencia los tiempos de riego (una vez a la semana) o emplear dispositivos de ajuste automático. Usar programadores de ajuste de intervalos de riego por segundos (a veces, un ajuste por minutos no es lo suficientemente preciso).
- Emplear sensores (por lo menos el de lluvia).
- Escoger emisores emergentes de coberturas uniformes.
- Repartir los emisores preferentemente en disposición triangular.
- En el caso de los difusores, emplear los dotados con reguladores de presión.
- Respetar la regla del 20 %, en cuanto a las pérdidas de carga entre el primer y el último emisores en una línea lateral.
- Utilizar emisores con válvulas de antidrenaje incluso para desniveles menores.
- Mantener una separación adecuada entre las zonas de pavimento y la línea de los emisores para no disipar agua por los pasillos (10 cm – 15 cm).
- Utilizar emisores con la mayor emergencia posible (por lo menos de 10 cm) para que puedan regar por encima de las hojas del césped.
- No utilizar emisores emergentes para regar macizos de plantas, para ello sirve el goteo.
- Mantener una separación razonable entre la línea de los emisores del césped y las zonas de plantas adyacentes (50 cm – 70 cm), ya que con el tiempo las plantas crecerán y obstruirán los chorros de los emisores.
- Comprobar con regularidad posibles fugas en el sistema poniendo en marcha todos los sectores y revisar todas las tuberías de goteo.
- Revisar y ajustar con regularidad las toberas y mantenerlas limpias (el mejor momento es después de una segada).
- No cortar el césped demasiado bajo para reducir la evaporación desde la tierra.

- Regar con el alba.
- No regar con el viento.
- Dividir el tiempo de riego en varios pequeños intervalos en vez de regar en un solo período largo. Aumentará la posibilidad de absorber el agua y se evitarán charcos.
- No regar con la humedad del aire alta o si la tierra todavía está húmeda del riego del día anterior.
- Reciclar aguas grises.
- Captar y aprovechar aguas pluviales.
- En el caso de los grupos de presión, procurar ajustar el caudal de los sectores de manera que la bomba trabaje en el régimen continuo sin arranques y paros cíclicos, y con el fin de aumentar la uniformidad de la cobertura de los emisores.
- (En el caso de suministros públicos) apuntar lecturas del contador de agua con frecuencia y evaluar cada temporada con el fin de optimizar.

4.7 Métodos de ahorro de energía – resumen

- ◆ Calibrar correctamente los diámetros de tubos, válvulas, filtros y otros elementos del sistema para minimizar las pérdidas de carga.
- ◆ Aprovechar la gravedad terrestre que haga el trabajo entero o la mayor parte posible de él.
- ◆ Optimizar la potencia e instalar una bomba con el mayor rendimiento posible.
- ◆ Ajustar el diseño para que la bomba trabaje en su punto óptimo para todos o la mayoría de los sectores.
- ◆ Aprovechar al máximo la presión disponible en un suministro público.
- ◆ Escoger emisores de riego con la menor presión de trabajo, respetando las condiciones del diseño.
- ◆ Repartir emisores de riego con disposiciones y separaciones minimizando la exigencia energética.
- ◆ Utilizar los reductores de presión siempre con razón.
- ◆ Apoyar el suministro eléctrico con fuentes alternativas verdes (energía solar, eólica, hidráulica, o las llamadas bombas solares, alimentadas directamente por colectores fotovoltaicos).

