

Manual de Riego para Agricultores

Módulo 3

Riego por Aspersión



Consejería de Agricultura y Pesca



MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES

MÓDULO 3. RIEGO POR ASPERSIÓN

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca

Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Autores: Rafael Fernández Gómez, Nicolás A. Oyonarte Gutiérrez, Juan P. García Bernal, M^a del Carmen Yruela Morillo,
Mercedes Milla Milla, Ricardo Ávila Alabarces, Pedro Gavilán Zafra.

Depósito Legal: CO-1460-99

I.S.B.N: 84-8474-027-7

Diseño y Maquetación: Ediciones Ilustres S.L. (Córdoba)

Entre los factores que determinan que un sistema agrícola sea moderno se encuentra, sin lugar a dudas, la gestión que se haga del agua. La Consejería de Agricultura y Pesca, en el contexto de la modernización de la agricultura, está impulsando y desarrollando acciones para mejorar la eficiencia de la utilización del agua en los regadíos de la Comunidad Autónoma.

Dentro de estas actuaciones, se encuentra el establecimiento de servicios de asesoramiento al regante, entre los que se incluyen la formación de agricultores, técnicos y gestores del agua en el manejo de sus sistemas de riego, así como la divulgación de los resultados de sus experiencias.

La edición de este "Manual de Riego para Agricultores" proporciona una herramienta adecuada, útil e innovadora para ofrecer esa información a los regantes de manera eficaz. Su objetivo es concienciar sobre los efectos de la agricultura de regadío en la disponibilidad de agua y en la sostenibilidad del medio, así como potenciar el manejo correcto de los sistemas de riego y el empleo de técnicas adecuadas para la gestión del agua.

La realización de este manual didáctico, se inscribe en la apuesta decidida que la Consejería de Agricultura y Pesca está haciendo para responder a la gran demanda de formación específica y adaptada a las necesidades concretas de los sectores productores y comercializadores andaluces. Además, pretende mejorar el acceso de los agricultores a la información y, con ello, elevar su capacidad de respuesta ante los cambios.

Y, siendo el agua en la agricultura andaluza un recurso irregular, limitado y estratégico, fuente de riqueza, diversificación y empleo, se hacía necesario contar con un material didáctico, riguroso y moderno, que apoyará la planificación y la gestión de su uso por parte de los agricultores andaluces.

Presentación

La adecuada práctica del riego incide grandemente en una mayor disponibilidad de agua para los regantes y en la mejora las producciones de sus cultivos, pero también, y no menos importante, en la disminución de la contaminación de los sistemas hidrológicos de los que se nutren el conjunto de la población y espacios de alto interés ambiental. Por tanto, la mejora del riego redundará en un mayor nivel y calidad de vida en los agricultores y del conjunto de la población.

La importancia de un manejo adecuado del agua de riego está en el ánimo de las administraciones públicas, gestores del agua y regantes, pero son frecuentes las situaciones en las que las pérdidas de agua de riego son importantes. Este "Manual de Riego para Agricultores" intenta contribuir a mejorar esta situación desde la formación del regante. Con él se pretende poner al alcance del regante conocimientos sobre los fundamentos del riego y el manejo de diferentes sistemas de riego.

En la elaboración de este manual se ha perseguido la simplicidad y claridad, sin renunciar a la calidad y el rigor. Abarca un gran número de cuestiones en torno al manejo del riego, desde la decisión sobre cuándo y cuánto regar hasta la evaluación básica de instalaciones de riego, de forma que se puedan detectar sus deficiencias y buscar soluciones factibles. Se han eludido aspectos complejos relacionados con el diseño de instalaciones, cuestión reservada para personal cualificado, si bien se abordan criterios que debe conocer el agricultor para participar en el diseño de su instalación.

Componen el manual cuatro módulos, en los que se abordan los fundamentos del riego (módulo 1) y cada uno de los tipos de riegos: riego por superficie (módulo 2), riego por aspersión (módulo 3) y riego localizado (módulo 4). Al final de cada capítulo se incluyen unas preguntas con las que el usuario podrá evaluar sus progresos. Se acompaña de un libro de ejercicios y de materiales de ayuda para el profesorado. Además, se ha elaborado una versión en disco compacto, susceptible de ser utilizada en cualquier ordenador personal. De esta forma, el conjunto es también utilizable en la enseñanza a distancia.

El "Manual de Riego para Agricultores" es un material didáctico que se ha elaborado dentro de un programa de actuaciones para la optimización del uso y gestión del agua de riego. Este programa está siendo desarrollado por la Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Consejería de Agricultura (Junta de Andalucía) a través de la Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía S.A. (D.a.p). Incluye, además de la elaboración de material didáctico, el establecimiento de Servicios de Asesoramiento al Regante, la caracterización de Comunidades de Regantes y un extenso plan de formación.

En la elaboración del "Manual de Riego para Agricultores", todo lo aprendido en el desarrollo de estas actuaciones ha sido utilizado. Por tanto, además de los autores y las personas que lo han producido y coordinado, queremos mencionar a otras personas de D.a.p. que han contribuido a su realización: José Bellido González, Isabel González de Quevedo, Ana Salas Méndez, Juan Carlos Martín-Loeches Sánchez, Fátima Moreno Pérez, Javier Mósig Pérez, Benito Salvatierra Bellido, Darío Reina Giménez, Antonio Romero López, Paula Triviño Tarradas y Salvador López Gracia.

Equipo de Trabajo

Unidad Didáctica 4. EVALUACIÓN DE INSTALACIONES DE RIEGO POR ASPERSIÓN	69
4.1 Introducción.	69
4.2 Evaluación de los componentes de la instalación	70
4.3 Evaluación de la uniformidad del riego	70
4.4 Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento	76
4.5. Eficiencia de Aplicación Óptima del sistema de riego	81
4.6. Evaluación del manejo del riego	83
Resumen.	84
Autoevaluación	85
Unidad Didáctica 5. MEJORA DEL MANEJO DEL RIEGO POR ASPERSIÓN.	87
5.1 Introducción.	87
5.2 Mantenimiento y reposición de componentes del sistema.	88
5.3 Manejo durante el riego	91
Resumen.	96
Autoevaluación	97
Unidad Didáctica 6. REDES COLECTIVAS DE RIEGO A PRESIÓN (ASPERSIÓN Y LOCALIZADO)	99
6.1 Introducción.	99
6.2 Descripción de las redes colectivas	100
6.3 Elementos de medida y control en las redes colectivas a presión.	105
Resumen.	107
Autoevaluación.	108
Respuestas a las Autoevaluaciones.	110
Glosario.	111
Bibliografía	



1.1 Introducción

En la actualidad son tres los métodos de riego utilizados en agricultura: superficie, localizado y aspersión. En el riego por superficie el agua discurre sobre el suelo aprovechando la fuerza de gravedad y la pendiente de la parcela en su caso, sin necesidad de dotar al agua de presión. En el caso del riego localizado y del riego por aspersión, **es necesario suministrar al agua una energía determinada para que ésta circule por las tuberías a presión.**

Cuando el agua de riego circula o se encuentra almacenada en balsas, embalses, canales, ríos, etc., y estos se encuentran situados a un nivel suficientemente alto con respecto a la parcela de riego, el agua, conducida por una red de distribución cerrada, adquiere una determinada presión. Ésta **se debe a la energía que tiene por la propia diferencia de altura** con respecto a la parcela.

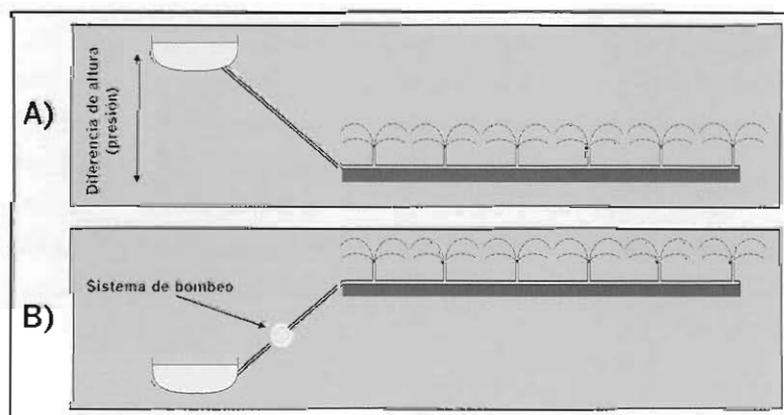


Figura 1. a) La presión del agua es consecuencia de la diferencia de altura entre el lugar de origen y el de uso; b) La presión necesaria en la red es suministrada por un sistema de bombeo.

En caso de que el agua no se encuentre en estas condiciones, por ejemplo si la parcela de riego está a mayor altura que el lugar donde se encuentra almacenada e incluso al mismo nivel, **será necesario suministrarle una energía para que alcance la presión necesaria** para circular por toda la red de riego y salir por los *emisores* con una presión tal que garantice su buen funcionamiento.

Lo más habitual es que ocurra este segundo caso, siendo los **equipos o sistemas de bombeo aquellos elementos de la instalación que aportan la energía necesaria** para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria para hacer funcionar los emisores correctamente.

1.2 Conceptos generales: caudal, presión y pérdidas de carga

CAUDAL

Se define el **caudal** como la **cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado**. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades:

- litros/segundos (L/s)
- litros/hora (L/h)
- metros cúbicos/hora (m³/h)

Para pasar de una unidad a otra, basta multiplicar o dividir por las cantidades que se indican a continuación:

Para pasar de	a		
litros/segundo	litros/hora	multiplicar por	3.600
litros/segundo	metros ³ /hora	multiplicar por	3.6
litros/hora	litros/segundo	dividir por	3.600
litros/hora	metros ³ /hora	dividir por	1.000
metros ³ /hora	litros/segundo	multiplicar por y dividir por	1.000 3.600
metros ³ /hora	litros/hora	multiplicar por	1.000

EJEMPLO

Por un *ramal de aspersión* circula un caudal de 0.85 litros/segundo. ¿A cuántos metros³/hora equivale dicho caudal?

Según la tabla anterior, para pasar de litros/segundo a metros³/hora basta multiplicar por 3.6:

$$0.85 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \times 3.6 = 3.06 \frac{\text{metros cúbicos}}{\text{hora}}$$



No es habitual que el agricultor mida el caudal instantáneo de agua que circula por sus conducciones. En general, el caudal sólo se mide en grandes instalaciones o puestos de control de zonas regables para llevar un control del funcionamiento de la red. Para realizar estas medidas, suelen emplearse **caudalímetros electromagnéticos y de ultrasonidos**, muy precisos pero caros, cuyo uso sólo se justifica en los casos mencionados.

Sin embargo, es preciso y muy útil que el agricultor mida **el volumen de agua** que ha pasado por ciertos lugares de la red y tener así control del agua aplicada con el riego. Para ello, lo más habitual es instalar **contadores volumétricos**.

PRESIÓN

Los sistemas de riego localizado y aspersión están basados en la conducción del agua desde un punto de almacenamiento hasta los emisores, discurriendo durante todo el trazado o red de distribución dentro de unas tuberías cerradas. Para que el agua llegue a todos los puntos de emisión, **es preciso que circule con una determinada presión**. De esta forma, se podrá superar la diferencia de altura a la que esté situada la parcela, vencer el rozamiento con las paredes de las tuberías y los distintos elementos que componen el sistema (uniones, codos, tes, válvulas, reguladores, etc.) y hacer funcionar correctamente los emisores (en riego por aspersión los *aspersores*).

La **presión** se puede definir como la **fuerza ejercida sobre una superficie determinada**. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema.

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

- Atmósferas (atm)
- Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm^2), usualmente conocida por el término “kilos”
- Metros de columna de agua (m.c.a.)
- Megapascuales (MPa)

En sistemas de riego a presión, localizado y aspersión, las presiones suelen indicarse en “kilos” aunque es frecuente que las casas comerciales indiquen las características de funcionamiento de sus equipos en otras unidades. La relación existente entre las más frecuentes es:

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 10 \text{ m.c.a.} = 0.1 \text{ MPa}$$

La presión suele medirse utilizando manómetros, bien instalados permanentemente en el punto de medida o bien colocándolos puntualmente en los lugares deseados mediante las denominadas *tomas manométricas*.



Una forma muy práctica de medir la presión con la que el agua sale por los aspersores es **colocando un manómetro en la boquilla o boquillas**. La lectura del manómetro indicará si el aspersor está funcionando a la presión adecuada y, en consecuencia, está aplicando el agua según lo deseado.



Figura 2. Medida de la presión en la boquilla de un aspersor utilizando un manómetro.

EJEMPLO

Un manómetro aplicado a la boquilla de un aspersor indica un valor de 2.7 kg/cm^2 . ¿A cuántos m.c.a. equivale dicha presión?

Teniendo en cuenta que 1 kg/cm^2 equivale a 10 m.c.a., para saber cuantos m.c.a. son 2.7 kg/cm^2 basta multiplicar ese valor por 10.

$$2.7 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 10 = 27 \text{ m.c.a.}$$

PÉRDIDAS DE CARGA

A medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina **pérdida de carga**, y se expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros de columna de agua (m.c.a.).

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes:

- **Diámetro interior de la tubería**, teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- **Longitud de la tubería**, sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.



- **Caudal**, siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- **Tipo de material** de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, etc.).

El valor de las pérdidas de carga que originan los diferentes elementos del sistema como uniones, codos, válvulas, medidores, etc. **debe ser suministrado por el fabricante**. Igualmente, la pérdida de carga en las tuberías debe ser solicitada al fabricante, aunque para ciertos tipos de materiales y diámetros más usuales pueden encontrarse valores en publicaciones referidas a sistemas de riego a presión.

A la hora de realizar el diseño hidráulico de la red de riego **es imprescindible tener en cuenta todas las pérdidas de carga que puedan ocasionarse**, con objeto de que en el punto más desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que el emisor suministre el agua de forma adecuada.

1.3 Elevación del agua

En determinados sistemas de riego el agua fluye por su propio peso, alcanzando así de forma natural una presión determinada, desde el lugar de origen hasta la parcela de riego cuando la diferencia de altura entre ambos es suficiente. De no ser así, **será preciso elevar el agua hasta un lugar de almacenamiento** de forma que obtenga presión por diferencia de altura, o bien dotarla de una presión determinada.

Actualmente suele ser habitual que el agua se encuentre a una altura insuficiente, a nivel o subterránea, por lo que es necesario elevarla (suministrarle presión) usando un sistema de bombeo. **Las bombas son los elementos de la instalación que suministran el caudal de agua necesario a la presión adecuada**. Normalmente se utilizan **bombas hidráulicas** accionadas por *motores eléctricos* o *motores de combustión interna*.

En la mayoría de los casos las bombas hidráulicas actúan en dos fases: **aspiración e impulsión**.

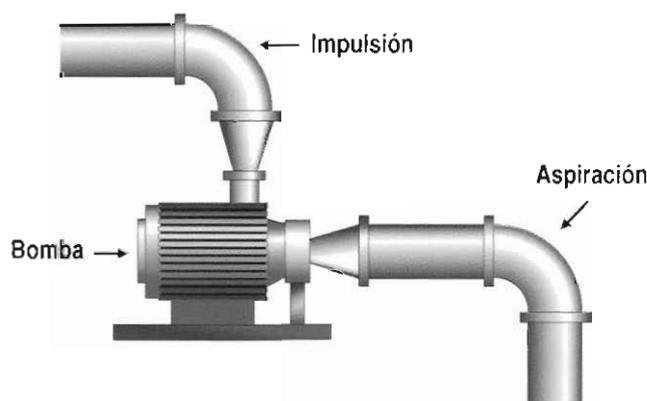


Figura 3. Aspiración e impulsión del agua por medio de una bomba hidráulica.



- En la **fase de aspiración** el agua se eleva desde su nivel hasta el eje de la bomba, siendo conducida por la *tubería de aspiración* en la que la bomba realiza el vacío con el fin de que el agua suba por ella. Se recomienda que la altura existente entre el nivel del agua aspirada y el centro o eje de la bomba, denominada **altura geométrica de aspiración (Ha)**, no sea superior a 7 metros.

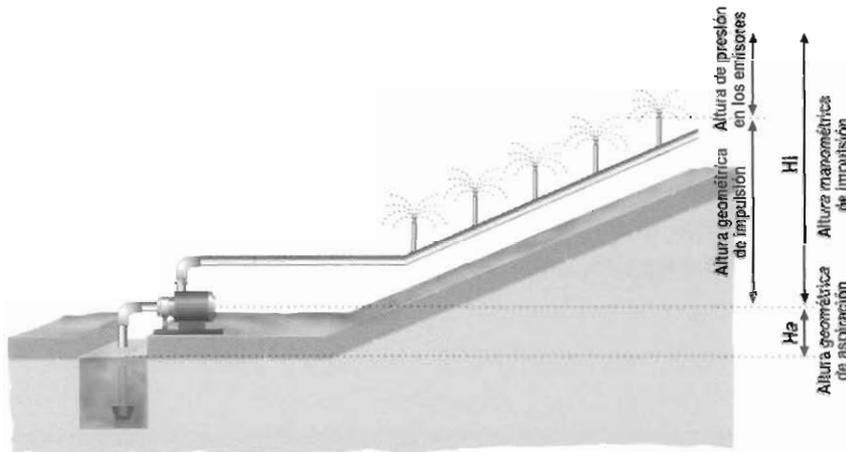


Figura 4. Representación esquemática de las alturas de aspiración e impulsión en la elevación del agua.

- En la **fase de impulsión** el agua es conducida desde la bomba hasta su destino final, mediante la *tubería de impulsión*. La bomba debe elevar el agua hasta el punto más alto de la instalación y además darle la presión necesaria para que salga por los emisores.

A la altura existente entre el centro o eje de la bomba y el punto más alto de la tubería de impulsión se denomina **altura geométrica de impulsión**. Sumando a ésta la altura de presión necesaria en el lugar más lejano al sistema de bombeo (presión de trabajo del emisor), la resultante se denomina **altura manométrica de impulsión (Hi)**.

EJEMPLO

Un agricultor tiene instalado un lateral de aspersión en su cultivo de maíz. La longitud de los tubos portaaspersores es de 1.5 metros, mientras que la diferencia de nivel existente entre la bomba y el punto más alto del terreno es de 17 metros (dato que se ha obtenido mediante consulta de un plano de curvas de nivel).

Sabe que la presión de funcionamiento de los aspersores es de 2 "kilos", es decir, 20 m.c.a. o 20 metros de elevación. ¿Cuál es la altura manométrica de impulsión (Hi)?

La altura geométrica de impulsión es la altura vertical que hay entre el centro (eje) de la bomba y el punto más alto de la instalación. Por tanto, a los 17 metros que hay de desnivel entre la bomba y el punto más alto del terreno hay que sumarle la longitud del tubo portaaspersor:

$$\text{Altura geométrica de impulsión} = 17 + 1.5 = 18.5 \text{ metros (m.c.a.)}$$

La altura manométrica de impulsión es la suma de la geométrica más la presión necesaria en los aspersores. Por tanto, Hi es:

$$18.5 + 2 = 20.5 \text{ metros (m.c.a.)}$$



Debido a las *pérdidas de carga* que se producen en las tuberías y elementos singulares y especiales, es necesario sumar la **altura por pérdidas de carga (Hp)** a la suma de la altura geométrica de aspiración y a la manométrica de impulsión. En la práctica y por razones de seguridad, el valor Hp suele incrementarse en un 20 % (simplemente multiplicando las pérdidas de carga por 1.2).

EJEMPLO

Se ha determinado que la pérdida de carga en la red de distribución de un sistema de riego por aspersión, desde el sistema de bombeo hasta el aspersor más lejano es de 3 m.c.a. De esta forma, la altura por pérdidas de carga a considerar para determinar la elevación del agua sería:

$$3 \times 1.2 = 3.6 \text{ m.c.a.}$$

Finalmente, la altura total de elevación denominada **altura manométrica total (Ht)**, es la suma de las alturas anteriores, Ha (geométrica de aspiración), Hi (manométrica de impulsión) y Hp (pérdidas de carga). La altura manométrica total es un dato imprescindible **para calcular la potencia necesaria del motor**.

$$H_t = H_a + H_i + H_p$$

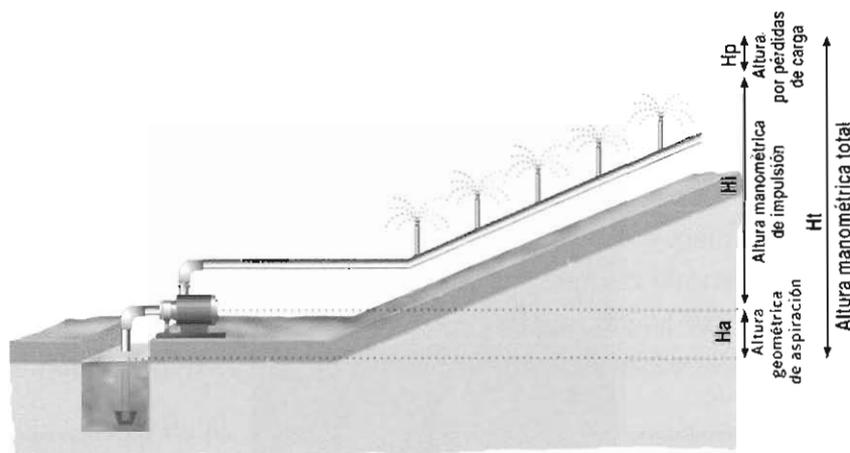


Figura 5. Representación esquemática de la altura manométrica total.

1.4 Tipos de bombas

Actualmente existe gran variedad de bombas utilizadas para dotar al agua de la energía necesaria para ser impulsada y llegar hasta su destino. **Las que se utilizan más comúnmente en agricultura son las denominadas turbomáquinas**, en las que se produce un aumento de la velocidad



BOMBAS DE EJE VERTICAL

Se utilizan generalmente **para bombear agua de pozos** que normalmente son estrechos y profundos, por lo que tienen una forma estrecha y alargada de manera que puedan trabajar en perforaciones de diámetros reducidos. Debido a su forma, es necesario colocar rodetes de pequeño tamaño, lo que en ocasiones obliga a disponer varios acoplados en serie para conseguir la altura manométrica total deseada.

En los grupos verticales propiamente dichos, **la bomba se encuentra sumergida en el agua mientras que el motor se sitúa en la superficie**, realizándose la transmisión mediante un eje que a veces tiene una gran longitud y que se instala dentro de la *tubería de impulsión*. La longitud de este eje está limitada debido al gran número de cojinetes necesarios para la sujeción del eje de la transmisión.



Figura 9. Grupo electrobomba de eje vertical.
Puede observarse el motor situado fuera del agua y el eje de impulsión.

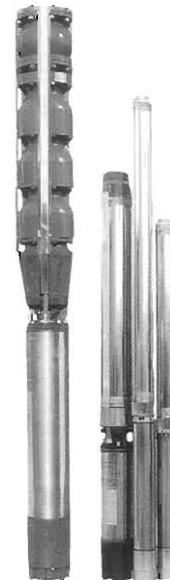


Figura 10. Distintos tipos de bombas sumergidas o bombas buzo.

Cuando los pozos son profundos (incluso más de 200 metros), **es necesario recurrir a los grupos motobombas sumergibles o grupos buzo**, los cuales se caracterizan por tener tanto la bomba como el motor bajo agua. Constan de un motor eléctrico aislado por una coraza y colocado en la base del cuerpo de la bomba, sostenidos ambos por la tubería de impulsión.

1.5 Prestaciones de las bombas

En una instalación de riego se pueden utilizar una o varias bombas dependiendo de la *altura manométrica total* necesaria y de las características tanto de las bombas como de la instalación.



Cada tipo de bomba individualmente puede ofrecer distintas prestaciones **dependiendo de la relación entre la altura manométrica total (Ht) que pueda ofrecer y el caudal (Q)** que suministra para cada altura. Sin embargo, cuando en una instalación se utilizan varias bombas, las prestaciones que pueden suministrar conjuntamente son distintas dependiendo del tipo de agrupamiento que se utilice, **en paralelo o en serie**, que a su vez estará condicionado por las necesidades de la instalación.

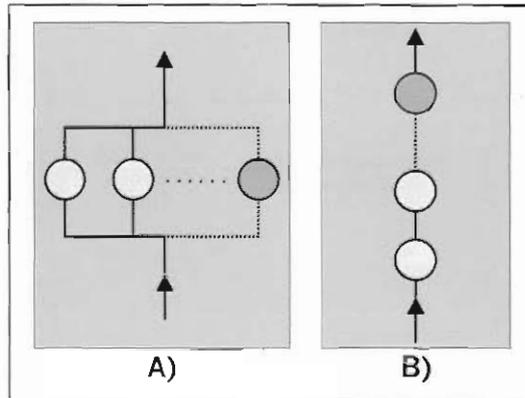


Figura 11. Esquema de agrupamiento de bombas: a) en paralelo; b) en serie.

BOMBAS EN PARALELO

Se suelen colocar las bombas en paralelo **cuando se necesita un caudal muy variable** o bien se pretende disminuir el riesgo por **falta de servicio por avería de una bomba**. Cada una de las bombas puede funcionar por separado, suministrando cada una de ellas el caudal que le corresponda, pero **todas las bombas deben dar la misma altura manométrica total**.

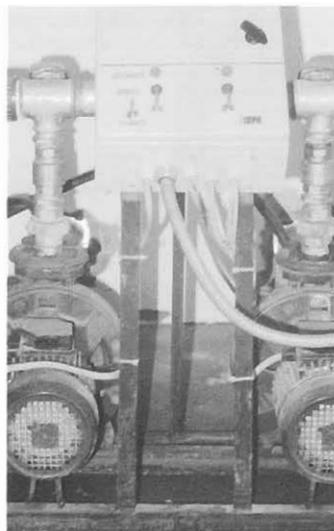


Figura 12. Electrobombas instaladas en paralelo.

Cuando cada una de las bombas funciona en solitario, proporciona el caudal deseado a una altura determinada. Sin embargo, cuando funcionan varias a la vez se está elevando un caudal igual a la **suma de los caudales que cada una de ellas suministra por separado, pero a la misma altura manométrica** que de forma independiente.

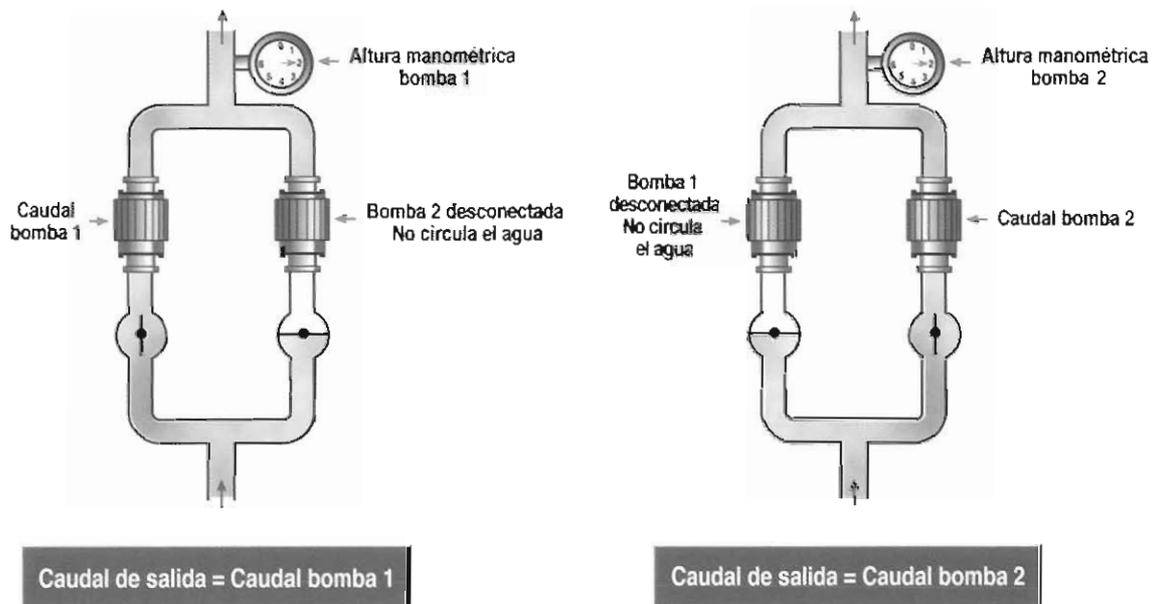


Figura 13 a. Prestaciones de bombas en paralelo, funcionando sólo la bomba 1.

Figura 13 b. Prestaciones de bombas en paralelo, funcionando sólo la bomba 2.

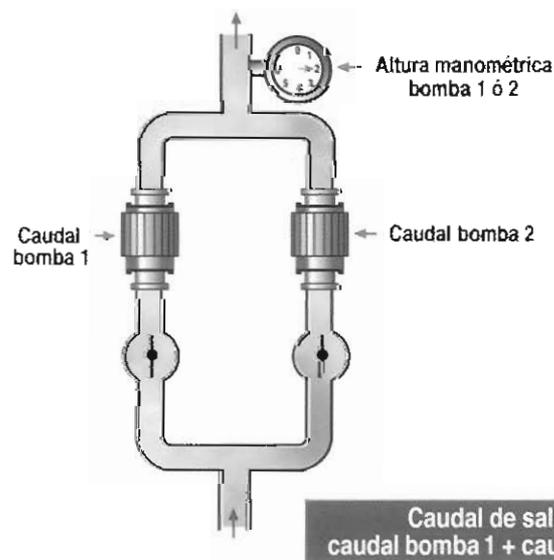


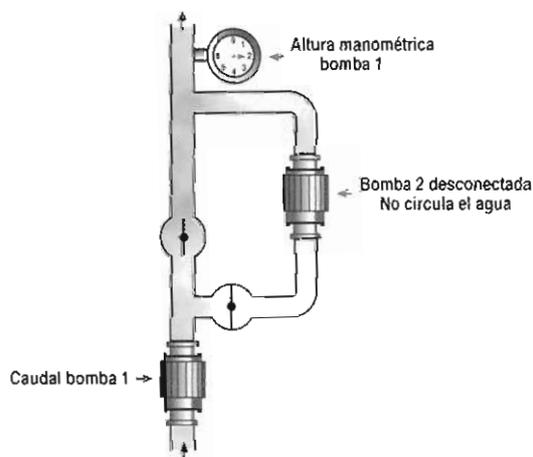
Figura 13 c. Prestaciones de bombas en paralelo, funcionando ambas bombas a la vez.

Por ejemplo se justificaría instalar un grupo de bombeo en paralelo en una parcela donde se van a regar dos cultivos diferentes, cuyas fases de desarrollo no coinciden en el tiempo. Será preciso disponer de mayor o menor caudal según la época del año y la fase de desarrollo de cada cultivo.

BOMBAS EN SERIE

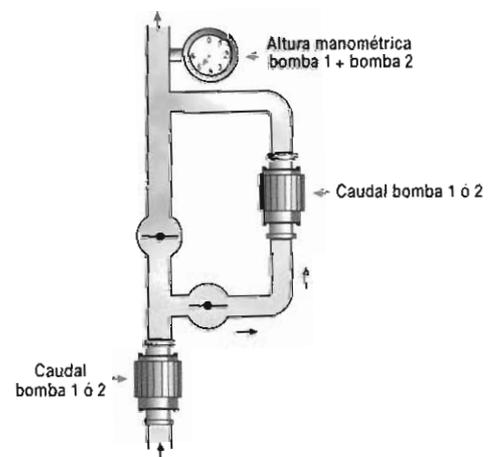
Su instalación está justificada cuando es necesario **dotar al sistema de riego de una presión mayor** (por ejemplo al cambiar de un sistema de riego localizado a aspersión) o bien **se requiere una gran altura manométrica total**. En el grupo de bombeo, la impulsión de una bomba es la aspiración de la siguiente y así sucesivamente dependiendo del número de bombas que constituya el grupo.

Mediante este sistema se consigue **obtener una altura manométrica total que es la suma de las alturas que proporciona cada bomba por separado**, mientras que el caudal que suministran trabajando conjuntamente es el mismo que suministraría cada una de ellas independientemente.



Caudal de salida = Caudal bomba 1

Figura 14 a. Prestaciones de bombas en serie, funcionando sólo la bomba 1.



Caudal salida = Caudal bomba 1 ó 2

Figura 14 b. Prestaciones de bombas en serie, funcionando ambas bombas a la vez.

Cuando hay una o más bombas trabajando en serie **no tienen porque estar trabajando constantemente**, ya que puede ocurrir que sólo se necesite una reelevación del agua en momentos determinados. En estos casos se disponen en un circuito que pueda ser aislado de la red principal cuando se desee.



1.6 Potencia del motor que acciona una bomba

El motor es el encargado de suministrar la energía necesaria a la bomba para poder elevar el caudal a una altura manométrica determinada. Para poder suministrar la energía necesaria a la bomba, **el motor requiere una determinada potencia** que se puede calcular fácilmente (en caballos de vapor, CV) aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Potencia (caballos de vapor, CV)} = \frac{\text{Caudal (L/s)} \times \text{Alt. manométrica total (Ht) (metros)}}{75 \times \text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}}$$

Tanto el rendimiento de la bomba como el del motor son datos suministrados por el fabricante y sus valores están en torno a 0.7 - 0.9.

Además de en caballos de vapor (CV) es muy frecuente expresar la potencia necesaria del motor en Kilovatios (kW). Para calcular la potencia en Kilovatios se utiliza la expresión:

$$\text{Potencia (Kilovatios, kW)} = 0.0098 \frac{\text{Caudal (L/s)} \times \text{Alt. manométrica total (Ht) (metros)}}{\text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}}$$

EJEMPLO

Se desea suministrar a un equipo de riego por aspersión un caudal de 6 litros/segundo. La altura manométrica total requerida en la bomba es de 45.9 m.c.a, es decir, 45.9 metros.

Suponiendo que el rendimiento de la bomba es 0.78 y el del motor 0.89, ¿cuál es la potencia del motor en Caballos de Vapor (CV) y en Kilovatios (kW) necesaria para que la instalación funcione correctamente?

Para calcular la potencia expresada en CV, se utiliza la siguiente expresión:

$$P = \frac{\text{Caudal (L/s)} \times \text{Alt. manométrica total (Ht) (metros)}}{75 \times \text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}} = \frac{6 \times 45.9}{75 \times 0.78 \times 0.89} = 5.28 \text{ CV}$$

Para calcular la potencia expresada en kW, se usa la expresión:

$$P = 0.0098 \times \frac{\text{Caudal (L/s)} \times \text{Alt. manométrica total (Ht) (metros)}}{\text{Rendimiento bomba} \times \text{Rendimiento motor}} = 0.0098 \times \frac{6 \times 45.9}{0.78 \times 0.89} = 3.88 \text{ kW}$$

1.7 Criterios básicos de selección de un grupo de bombeo

A la hora de realizar la selección de una bomba para una instalación de riego se plantean numerosas posibilidades tanto de tipo técnico como de tipo económico. Es preciso tener en cuenta ciertas recomendaciones, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- La **procedencia del agua de riego** puede ayudar a decidir que tipo de bomba se ha de instalar, de tal manera que:
 - Si el agua procede de embalses o canales, la bomba que se suele instalar generalmente es de tipo centrífuga de eje horizontal.
 - En caso de que el agua provenga de pozos poco profundos (5-7 metros) también se aconseja instalar bombas centrífugas de eje horizontal, aunque también es factible instalar una bomba de eje vertical.
 - Cuando la toma de agua se realiza de pozos de profundidades medias, se justifica la elección de una bomba vertical. Para pozos de profundidades mayores la elección iría dirigida hacia bombas sumergidas o *bombas buzo* (incluso para más de 200 metros).
- En cualquier caso, la bomba irá accionada por un motor eléctrico o bien de combustión **según se disponga o no de corriente eléctrica en la finca**.
- Una vez decidido el tipo de bomba o grupo de bombeo que se vaya a instalar, se han de **determinar las prestaciones que éstas deben suministrar al sistema**. Para ello se ha calculado previamente el caudal (Q) necesario y la *altura manométrica total* (Ht), y en función de estos dos datos se elige la bomba en cuestión. Es habitual sobredimensionar las bombas un 20 % para prevenir disminuciones del rendimiento como consecuencia de su uso. Como será difícil encontrar en el mercado una bomba con las características requeridas, se debe elegir aquella que suministre por exceso.
- El motor que acciona la bomba debe de ser el adecuado, para lo cual se **calculará la potencia requerida por la bomba para elevar el agua** y se elegirá el motor en función de esa potencia, siendo adecuado aquel que la suministre por exceso.



Resumen

En sistemas de riego por tuberías cerradas a presión es necesario dotar al agua de una energía para que circule por las mismas hasta salir por los emisores. Caudal, presión y pérdidas de carga son tres conceptos básicos para entender el funcionamiento de un sistema de riego a presión.

Por lo general es necesario suministrar al agua una energía de forma artificial, usando para ello los equipos de bombeo con los que se aporta la energía necesaria para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria, permitiendo el correcto funcionamiento de los emisores. La presión que ha de suministrarse a un sistema de riego está representada por la altura manométrica total (H_t), que es la suma de la altura de geométrica de aspiración (H_a), la altura manométrica de impulsión (H_i) y la altura por pérdidas de carga (H_p) incrementada en un 20 %.

Las bombas más utilizadas en agricultura son las hidráulicas accionadas por un motor eléctrico o uno de combustión. Según la disposición del eje de rotación se diferencian las bombas de eje horizontal (usadas preferentemente si la captación se realiza desde canal o embalse) y las de eje vertical y sumergidas (si se toma el agua de pozo).

El grupo de bombeo puede estar formado por varias bombas que podrán instalarse en paralelo cuando el caudal necesario es muy variable, o en serie cuando es necesario dotar a la instalación de una mayor presión.

Autoevaluación

- Una de las unidades en que se expresa habitualmente el caudal es en:
 - Atmósferas (atm)
 - Metros de columna de agua (m.c.a.)
 - Litros/segundo (L/s)
 - Metros cúbicos (m³)
- En referencia a las bombas hidráulicas utilizadas normalmente en agricultura, suelen actuar en dos fases:
 - Succión y expulsión
 - Aspiración y expulsión
 - Succión y aspiración
 - Aspiración e impulsión
- La pérdida de presión que se produce a medida que el agua a presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema debido al rozamiento se denomina:
 - Presión de rozamiento
 - Rozamiento de carga
 - Pérdidas de presión
 - Pérdidas de carga
- Los grupos motobombas sumergibles o grupos buzo se caracterizan por tener:
 - El motor situado en la superficie y la bomba sumergida en el agua
 - El motor y la bomba sumergidos en el agua
 - La bomba en la superficie y el motor sumergido en el agua
 - El motor y la bomba ambos en superficie
- ¿Cuáles son las principales unidades en que se expresa la potencia de un motor?
 - Kilovatios y Caballos de Vapor
 - Kilovatios y centímetros cúbicos
 - Voltios y Watios
 - Watios y Caballos
- La altura de elevación o altura manométrica total es suma de las siguiente alturas:
 - Altura de succión, impulsión y aspiración
 - Altura de aspiración, intrusión y pérdidas de carga
 - Altura de aspiración, impulsión y pérdidas de carga
 - Altura de succión, expulsión y pérdidas de carga
- Si las necesidades de caudal de una instalación de riego son muy variables, lo más recomendable es instalar varias bombas agrupadas:
 - En serie
 - En paralelo
 - En oblicuo
 - En superposición
- Para evitar que la tubería de aspiración se vacíe durante el funcionamiento o después de la parada de las bombas, ¿qué tipo de válvula se debe instalar en el extremo de dicha tubería?
 - Válvula de pie
 - Válvula volumétrica
 - Válvula de ventosa
 - Válvula de retención
- En un conjunto de bombas colocadas en serie y trabajando a la vez, la altura manométrica total que suministra el conjunto es:
 - La diferencia entre cada una de las que suministran las bombas por separado
 - La de la bomba que proporciona menor altura manométrica total
 - La suma de cada una de las que suministran las bombas por separado
 - La de la bomba que proporciona mayor altura manométrica total



2.1 Introducción. Descripción del método

El **riego por aspersión** es un método mediante el cual **el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia**, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los **aspersores**.

La red de distribución del agua está formada por conducciones cerradas que **llevan el agua a presión hasta los aspersores**; el agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno, donde se infiltrará pasando desde la superficie del suelo hasta capas cada vez más profundas, **quedando así a disposición del cultivo**. La cantidad de agua que se infiltra, será más o menos homogénea según sean las características físicas del suelo y las propias características de funcionamiento de los aspersores.



Figura 1. Riego por aspersión.

En un sistema de riego por aspersión bien diseñado **no debe producirse *escorrentía***, es decir, cada gota de agua debe infiltrarse en el mismo punto donde cae. Además, el tamaño de las gotas producidas por los aspersores debe ser tal que **no provoque *erosión al caer al suelo***. Cuanto mayor sea el tamaño de la gota, con mayor energía llegará al suelo y en consecuencia la erosión podrá ser mayor.

Una vez que el agua ha salido por el aspersor queda **fuera de control y a merced de las condiciones climáticas**. El **viento** es el elemento que tiene mayor influencia en la distorsión del chorro de agua pulverizada haciendo que el agua se distribuya irregularmente sobre el suelo, lo que repercute disminuyendo la uniformidad de aplicación del agua **y por tanto el desarrollo homogéneo del cultivo**. También influye en la cantidad de agua que llega al suelo la **evaporación directa** en situaciones de ambiente muy cálido y seco, ya que las gotas de agua pueden evaporarse antes de llegar a caer al suelo. Aunque estas pérdidas de agua no suelen ser muy importantes, es conveniente tener en cuenta el tamaño de la gota puesto que cuando son muy pequeñas se evaporan fácilmente. Las pérdidas por evaporación afectan más a la uniformidad de aplicación que al rendimiento del sistema de riego.

2.2 Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión

VENTAJAS DEL MÉTODO

Las ventajas del riego por aspersión se fundamentan principalmente en dos aspectos: uno, el control del riego sólo está limitado por las condiciones climáticas; y dos, la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo.

- **Permite regar terrenos ondulados o poco uniformes** sin necesidad de una nivelación o preparación previa del mismo, al contrario de lo que ocurre en riego por superficie.



Figura 2. Con el riego por aspersión se pueden regar en terrenos ondulados con cierta pendiente.



- **Se aprovecha más la superficie de cultivo** ya que no hay que destinar parte del suelo a canales y acequias. Además, el riego por aspersión **puede ser utilizado en una gran variedad de suelos**, incluso en aquellos muy ligeros o de *textura* arenosa que exigen riegos cortos y frecuentes.
- Es un método de riego que **se adapta muy bien a las primeras fases de desarrollo de los cultivos**, sobre todo durante la *germinación* de las semillas, donde son necesarios riegos ligeros pero frecuentes. Esto ocurre en algunos cultivos tales como zanahoria, remolacha, etc. **También es un método muy útil para dar riegos de socorro** y especialmente **eficaz en la lucha contra heladas**.

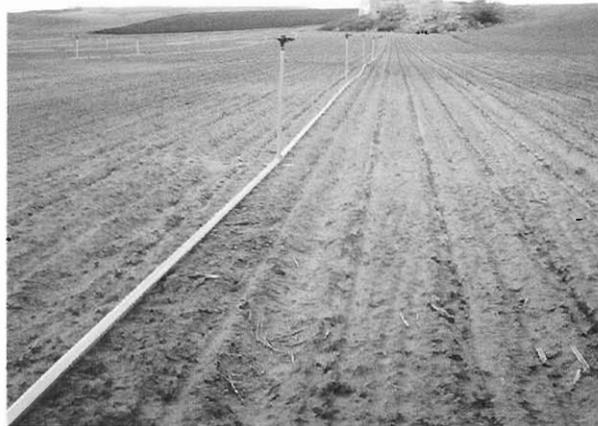


Figura 3. El riego por aspersión es especialmente útil durante las primeras fases de desarrollo del cultivo, por ejemplo en la germinación.

- Es el método de riego ideal **para realizar un lavado de sales**, ya que tienden a desplazarse junto con el agua hasta capas profundas del suelo quedando fuera del alcance de las raíces.
- Hay una **mayor posibilidad de mecanización de los cultivos**, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie. Únicamente en el caso de sistemas con tuberías en superficie durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.
- Posibilita la aplicación junto con el agua de riego de **sustancias fertilizantes y algunos tratamientos químicos** y permite cierto grado de automatización.
- **Se adapta a la rotación de los cultivos**, siempre y cuando el diseño de la red de distribución se realice para el cultivo que tenga mayores necesidades de agua.



INCONVENIENTES DEL SISTEMA

- El principal inconveniente del riego por aspersión es de carácter económico. Dependiendo del tipo de sistema que se implante **podrá hacer falta una gran inversión inicial y/o de mantenimiento**. A esto hay que añadirle el **alto coste energético** que supone el funcionamiento de la instalación, al necesitar importantes *sistemas de bombeo* para dotar a la red de la presión adecuada.
- El aporte de agua en forma de lluvia puede tener efectos negativos sobre algunos cultivos, ya que al humedecerse la parte aérea del cultivo **aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades**.
- **El viento dificulta el reparto uniforme del agua** haciendo disminuir la *uniformidad de aplicación* y la *eficiencia* del sistema de riego.



Figura 4. El viento afecta a la aplicación del agua sobre el suelo y es uno de los máximos responsables del mal reparto del agua.

- Algunos cultivos pueden sufrir quemaduras en las hojas en mayor o menor grado dependiendo de la sensibilidad del cultivo y de la calidad del agua de riego, puesto que al evaporarse las sales pueden quedar concentradas en exceso.

2.3 Red de distribución. Piezas especiales

RED DE DISTRIBUCIÓN.

Las parcelas de riego suelen dividirse, según su forma y tamaño, en una o varias **unidades de riego**, denominándose así aquellas zonas que se riegan de una sola vez. A su vez, las unidades de riego se pueden dividir en varias subunidades de forma que se faciliten las operaciones de riego y el control del sistema.



La red de distribución es el conjunto de tuberías que llevan el agua desde la toma de agua en la parcela hasta los aspersores situados las distintas unidades y subunidades de riego. Está formada por la **red principal o de alimentación**, que distribuye el agua por la parcela y los **ramales de aspersión**, que derivan de los anteriores y conducen el agua hasta los aspersores.

En riego por aspersión es muy frecuente que los ramales de aspersión sean móviles y tomen agua desde diversos puntos distribuidos a lo largo de la tubería de alimentación, trasladándolos de un sitio a otro. Así, **se van regando franjas de suelo de forma consecutiva** hasta que se completa la totalidad de la parcela.

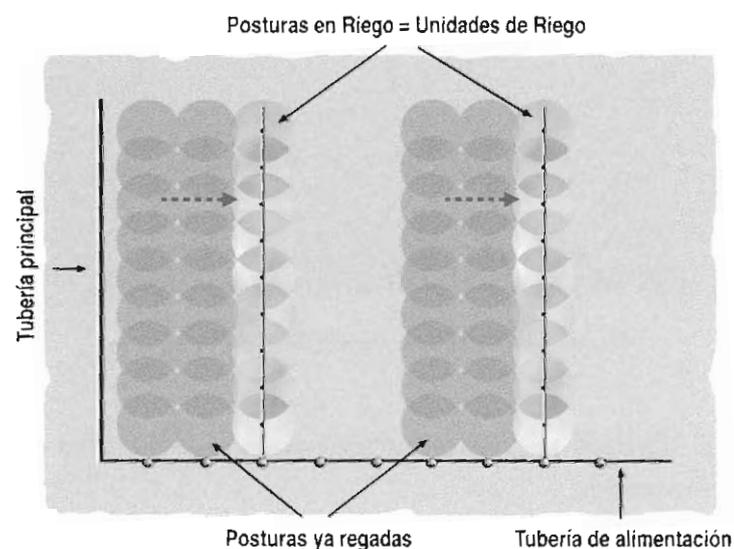
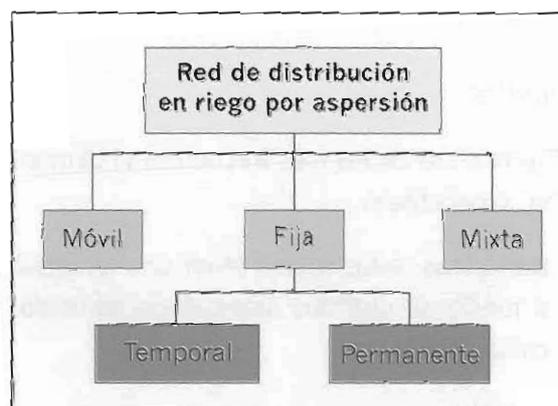


Figura 5. Posturas de riego en sistemas de aspersión.

En estos casos, la unidad de riego corresponde a la superficie asociada a cada ramal de aspersión y **la operación de riego se denomina postura**. Igualmente, al cambio del ramal de un sitio a otro se llama *cambio de postura*, y lo habitual es que se rieguen varias posturas simultáneamente para que el tiempo empleado en completar la parcela no sea demasiado largo.

Dependiendo de la movilidad de las tuberías, la red de distribución se puede clasificar en:



- **Fija:** Las tuberías abarcan la totalidad de la superficie que se vaya a regar. A su vez puede ser **temporal** (las tuberías se colocan sobre la superficie del suelo después de la siembra o plantación y se suelen quitar algo antes de la recolección. En muchas ocasiones la red puede ser un obstáculo para la mecanización y organización de los trabajos en la parcela) o **permanente** (las tuberías están permanentemente enterradas y sólo están sobre el suelo los *tubos portaaspersores*).



Figura 6. Sistema de aspersión fijo temporal.

Este tipo de red de distribución se justifica cuando por las características del suelo y/o del cultivo los riegos deben ser frecuentes.

- **Móvil:** Todas las tuberías de la red de distribución, tanto las correspondientes a la red principal como a los ramales de aspersión, **se van trasladando a medida que se va regando**. Este sistema está especialmente indicado cuando el suministro del agua es por medio de canales o acequias.
- **Mixta:** La red principal suele ser fija, estando las tuberías enterradas o sobre el suelo, mientras que **los ramales de aspersión se van trasladando de una postura de riego a otra**.

Como es lógico, cuanto más fija sea la red de distribución más se encarecerá la inversión inicial pero menores serán los costes de explotación del sistema.

CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS

Tuberías para sistemas móviles

Han de ser de materiales ligeros, siendo los más frecuentes el aluminio y acero galvanizado, aunque también se utilizan de PVC y polietileno.

Cuando se utilizan **tuberías metálicas**, éstas suelen tener una longitud de 3, 6 (lo más usual), 9 o 12 metros, y se unen entre sí mediante distintos dispositivos teniendo en cuenta que las uniones deben cumplir las siguientes condiciones:

- Deben poder realizarse con rapidez.

- Deben ser estancas, es decir deben evitar cualquier fuga de agua.
- Deben permitir una cierta holgura para que los elementos consecutivos puedan formar un pequeño ángulo y se adapten a la superficie del terreno.

Los diámetros de las tuberías de los **ramales de aspersión suelen oscilar entre 2 y 6 pulgadas** (50 - 150 milímetros) y pueden soportar presiones en torno a los 10 kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm^2 , término conocido usualmente como “kilos”). **Normalmente son de aluminio**, material ligero y resistente a la corrosión aunque menos resistente a los choques y golpes que el acero galvanizado.

La unión de los tubos que integran un ramal se realiza mediante un sistema de acoplamiento rápido por medio de uniones mecánicas o hidráulicas.

- **Uniones mecánicas:** La estanqueidad se consigue comprimiendo un aro de goma situado entre los extremos de los dos tubos contiguos a través de un cierre de palancas que los une fuertemente.
- **Uniones hidráulicas:** La estanqueidad se consigue mediante una junta de doble labio (en forma de U). La presión del agua actúa sobre los dos labios de la U apretando uno de ellos contra el extremo macho y el otro contra el extremo hembra, siendo suficientemente estanca cuando dicha presión supera los 0.5 “kilos”. **Dispone de un cierre o pestillo que evita que la presión separe los tubos** permitiéndoles además una cierta holgura.



Figura 7. Unión hidráulica entre dos ramales de aspersión.

Su acople ha resultado defectuoso ya que se aprecian importantes fugas de agua.

Las **tuberías de PVC** son muy ligeras, tienen baja rugosidad y permiten un fácil montaje y reparación. Sin embargo son muy frágiles, por lo que unido a su deterioro por la acción de la luz solar **suelen instalarse enterradas**. Los diámetros más normales de uso están comprendidos entre 25 y 300 milímetros y suelen estar constituidas por tubos de 5 a 9 metros de longitud unidos con un pegamento especial.

Las **tuberías de polietileno** son flexibles lo que permite su manejo en rollos con grandes longitudes de tuberías (50 - 200 metros). Están indicadas para pequeños diámetros (16 - 200 mm), siendo las uniones más usadas las de tipo manguito.

Las principales características de las tuberías de polietileno son poseer una gran flexibilidad, facilidad de montaje, bajo número de juntas y gran resistencia a las cargas. Debido a su alto precio, se suelen utilizar sólo en diámetros pequeños y para riegos donde no sea frecuente el movimiento de los ramales de aspersión.

Tuberías para sistemas fijos

Se emplea principalmente PVC, fibrocemento, acero, fundición, hormigón y plástico, siendo en la actualidad **los materiales más utilizados el fibrocemento y PVC.**

Las tuberías de fibrocemento presentan ventajas tales como su **menor coste para diámetros intermedios** (200 - 400 mm), gran resistencia a agentes físicos y algunos químicos, baja rugosidad, no se suelen formar incrustaciones, cierta flexibilidad en las uniones y fácil reparación. Como inconvenientes destacan su **gran fragilidad, por lo que se debe de extremar el cuidado en el transporte y la puesta en obra**; además, desde el punto de vista económico, resultan competitivas para diámetros muy grandes.

PIEZAS ESPECIALES

Para el montaje de la red de distribución y el adecuado funcionamiento de los ramales de aspersión y de los aspersores se utilizan una serie de accesorios denominados en general piezas especiales. Los más usuales son los siguientes:

Portaaspersores

Son los elementos de unión entre el aspersor y el ramal de aspersión. Generalmente consisten del *tubo portaaspersor*, el acoplamiento o enlaces rápidos y un estabilizador para mantener el tubo y el aspersor en posición vertical.

— El tubo portaaspersor se fabrica en acero galvanizado, aluminio y cada vez más en material plástico rígido. Su longitud es variable y depende de la altura del cultivo que se vaya a regar, así, los tubos más utilizados son de 0.25-0.5-1-1.5 y 2 metros de longitud. Los diámetros comerciales de estos tubos están comprendidos entre 0.5 y 1 pulgadas (19-25 mm).

En instalaciones con terrenos muy ondulados es conveniente utilizar *reguladores de presión* que garanticen presiones uniformes en los aspersores; estos reguladores van instalados en el interior del tubo portaaspersor.

— Los acoplamientos o enlaces rápidos se utilizan con objeto de facilitar la conexión y desconexión del tubo portaaspersor al ramal de aspersión y hacer posibles dichas operaciones sin detener el funcionamiento de la instalación, lo cual permite también revisar los aspersores o bien trasladarlos a otro ramal.





Figura 8. Tubo portaaspersor dotado de un acople rápido al ramal de aspersión.

- Para evitar las oscilaciones del tubo durante el riego se emplean unas placas o soportes estabilizadores que evitan o reducen su movimiento. Además, en caso de que el tubo portaaspersor sea de gran longitud es necesario recurrir al empleo de los llamados “trípodes” o “cohetes” con objeto de mantener el tubo en posición vertical.



Figura 9. Tubo portaaspersor en el que se observa el estabilizador.

Tes, cruces, codos, reducciones y tapones finales de tuberías

Son piezas que se utilizan en las derivaciones, cambios de dirección, cambios de diámetros y extremos de las tuberías. Se fabrican de los mismos materiales y diámetros que los tubos de los ramales de aspersión.

Tomas o bocas de riego

Estas piezas son conocidas también como **hidrantes**, y constituyen el elemento de **conexión entre el ramal de aspersión y la tubería que lo abastece**.



Figura 10. Toma o boca de riego, también denominada "hidrante".

Elementos de medida y control

En toda instalación deben existir diferentes elementos para medir fundamentalmente el caudal de agua que pasa por un lugar determinado, el volumen de agua que ha circulado y la presión. Para ello se emplean respectivamente **los caudalímetros, los contadores volumétricos y los manómetros**, existiendo en el mercado gran variedad en función del intervalo de medida, material de fabricación, etc.

Asimismo, son muy recomendables determinados elementos de control tanto del caudal como de la presión. Es **aconsejable, cuando la topografía lo requiera, instalar reguladores de presión a la entrada de las unidades o subunidades de riego** para conseguir presiones homogéneas en toda la instalación, especialmente si el terreno es ondulado y existen diferencias de altura considerables entre distintos puntos de la parcela.

2.4 Aspersores y distribución del agua

Los aspersores son los elementos de la instalación de riego por aspersión **encargados de distribuir el agua en forma de lluvia** sobre la superficie del suelo. Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central, por las que sale el agua a presión. El movimiento gira-



torio del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor.

La distribución del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme, por lo que para conseguir la mayor uniformidad posible han de disponerse los aspersores lo suficientemente próximos entre sí de tal forma que se produzca un *solape* entre ellos.

TIPOS DE ASPERSORES

En general, los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse atendiendo a distintos aspectos:

Según el **mecanismo de giro** se clasifican en:

- **Aspersores de impacto:** Son los más utilizados en agricultura. El giro se consigue mediante el impulso del chorro del agua sobre un brazo oscilante que se desplaza y vuelve a su posición inicial gracias a un muelle recuperador. Cuando el brazo vuelve a su posición original, golpea el cuerpo del aspersor provocando un ligero giro del mismo. La velocidad de giro es relativamente pequeña, por lo que se les considera aspersores de giro lento.



Figura 11. Aspersor circular de impacto en cultivo de zanahorias.

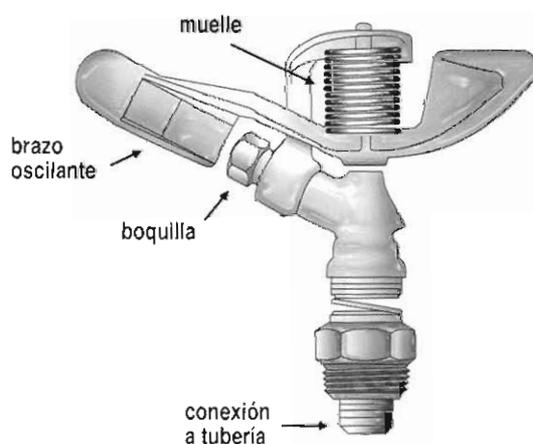


Figura 12. Componentes de un aspersor de impacto típico.



- **De media presión:** Son aspersores que trabajan a una presión comprendida entre 2.5 y 4 kg/cm². Suelen llevar una o dos boquillas con un diámetro comprendido entre 4 y 7 milímetros, pudiendo suministrar caudales entre 1.000 y 6.000 litros/hora. Suelen utilizarse en marcos desde 12x12 metros a 24x24 metros, lo que indica que el *alcance* del aspersor puede variar de 12 a 24 metros.
- **De alta presión:** Son aspersores cuya presión de funcionamiento es superior a los 4 kg/cm². Suelen ser de gran tamaño, más conocidos como “cañones”, y pueden tener una, dos o tres boquillas. El caudal del aspersor puede variar entre 6.000 y 40.000 litros/hora, aunque los grandes cañones pueden llegar a los 200.000 litros/hora (200 metros cúbicos/hora).

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA SOBRE EL SUELO

El proceso de distribución del agua aplicada por cada aspersor no es uniforme en toda la superficie regada por él, sino que la cantidad de agua que cae en cada sitio **varía en función de la distancia al aspersor**. En general, la zona más próxima al aspersor recibe más cantidad de agua, disminuyendo a medida que aumenta la distancia.

Cada tipo de aspersor origina una distribución del agua que depende principalmente del tamaño de la boquilla, de la dispersión del chorro del agua, de la presión de trabajo y de las condiciones de viento.

La presión afecta de tal manera que cuando es demasiado baja, las gotas son demasiados grandes y la distribución es muy poco uniforme. Cuando la presión es demasiado alta, el agua se pulveriza en gotas muy finas y caen muy cerca del aspersor.

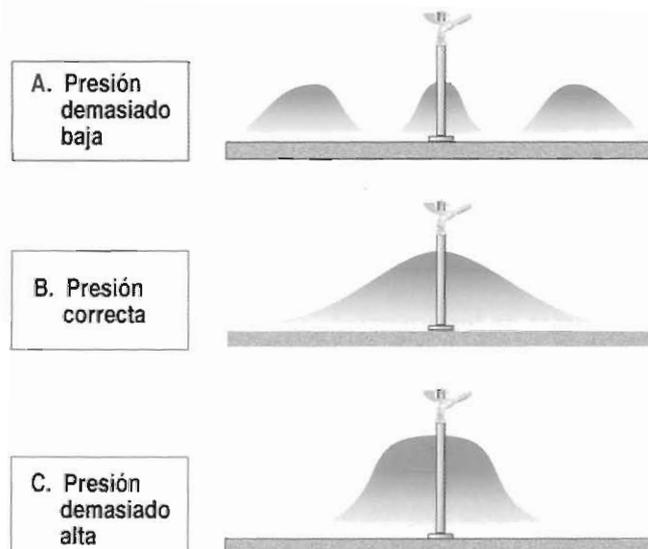


Figura 17. Efecto de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada.

El viento es uno de los principales elementos que distorsiona el perfil de distribución del aspersor, de tal forma que **a mayor velocidad del viento mayor distorsión del chorro de agua**. Por ello es

muy útil conocer los vientos dominantes de la zona a la hora de seleccionar el **marco de riego** (distancia que existe entre dos aspersores contiguos del mismo ramal de aspersión y entre dos ramales).

Para lograr una mayor uniformidad de aplicación de la lluvia provocada por los aspersores es necesario que exista un solape de las superficies regadas por los aspersores cercanos entre sí. Por esta razón, **la elección del marco de riego es fundamental**.

Los *marcos de riego* más habituales son: marco cuadrado o real, en rectángulo y en triángulo o tresbolillo.

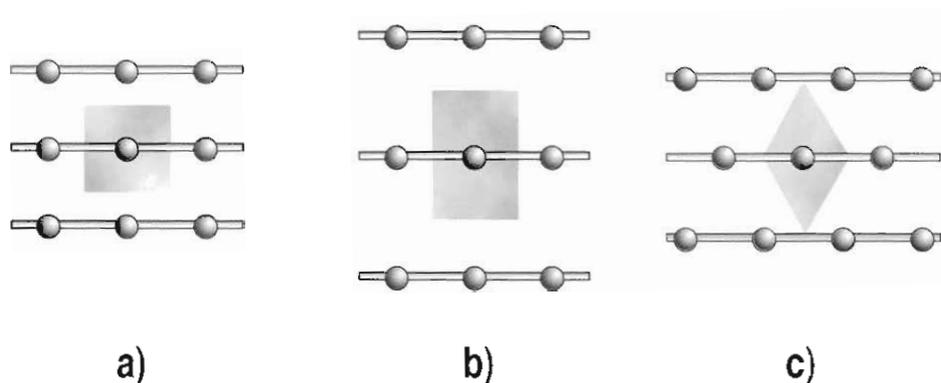


Figura 18. a) Marco cuadrado o real; b) Marco rectangular; c) Marco triangular o al tresbolillo.

Los siguientes **valores de separación** entre aspersores y ramales de aspersión son los más recomendados para cada tipo de marco de riego:

- En disposiciones o **marcos en cuadrado y triangular (tresbolillo)**, la separación entre los aspersores y ramales de aspersión debe ser el 60 % del diámetro mojado.
- En disposiciones o **marcos rectangulares** la separación entre ramales debe ser el 75 % del diámetro mojado y el 40 % del diámetro entre aspersores de un ramal.

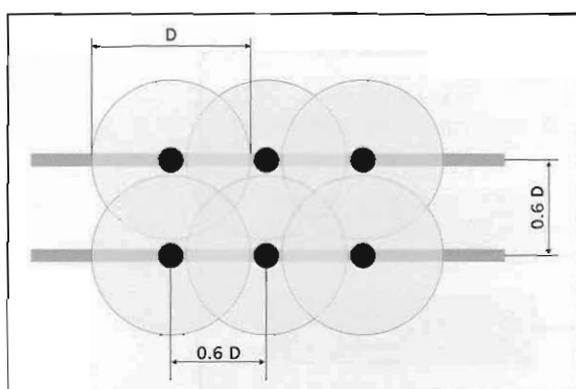


Figura 19 a. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco cuadrado.

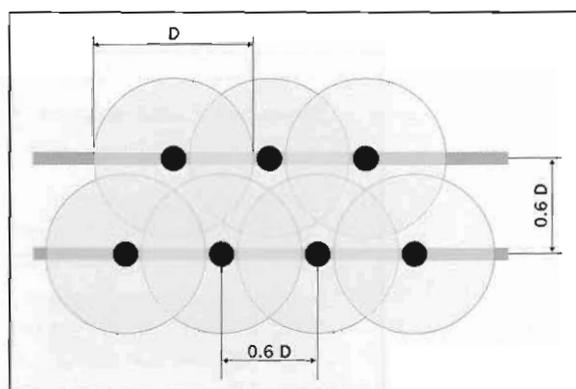


Figura 19 b. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular.



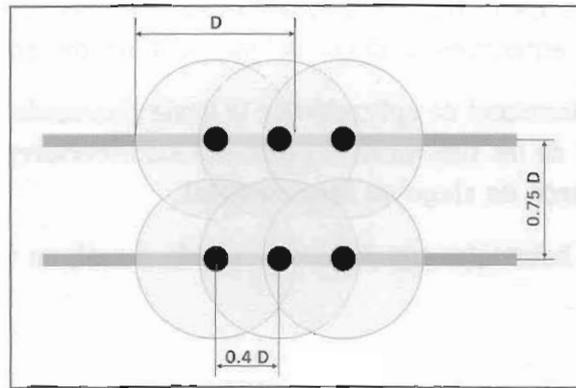


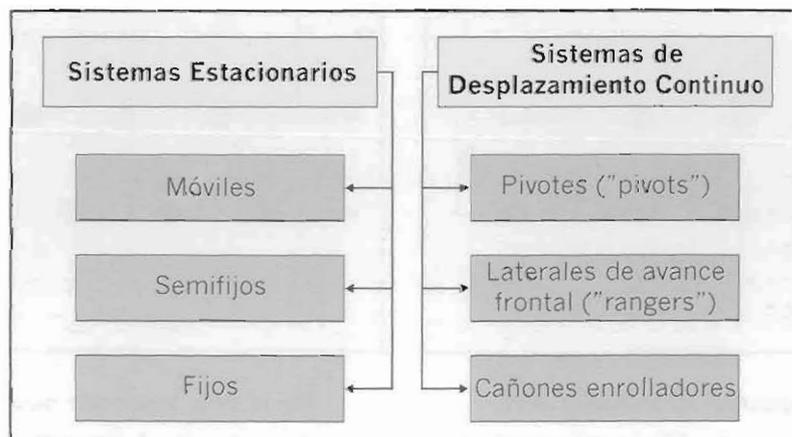
Figura 19 c. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular.

2.5 Clasificación de los sistemas de aspersión. Criterios para su elección

TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas de aspersión suelen clasificarse según el grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. De esta manera se facilita la comprensión de su funcionamiento y además se ofrece una mejor idea acerca de los costos necesarios e inversiones a realizar. De forma general los costes de inversión se incrementan y los requerimientos de mano de obra disminuyen a medida que aumenta el número de elementos fijos del sistema.

Los sistemas de aspersión se clasifican en dos grupos: **sistemas estacionarios** y **sistemas de desplazamiento continuo**.



Sistemas estacionarios

Son aquellos que **permanecen fijos mientras riegan**. A su vez se pueden clasificar en **móviles, semifijos y fijos**.

- **MÓVILES:** Son aquellos en los que **todos los elementos de la instalación son móviles**: tuberías primarias, secundarias y terciarias, si las hubiera, ramales de aspersión, portaaspersores y aspersores. También el equipo de bombeo puede ser móvil, normalmente accionado por un motor de combustión conectado a la toma de fuerza de un tractor, que se va desplazando.

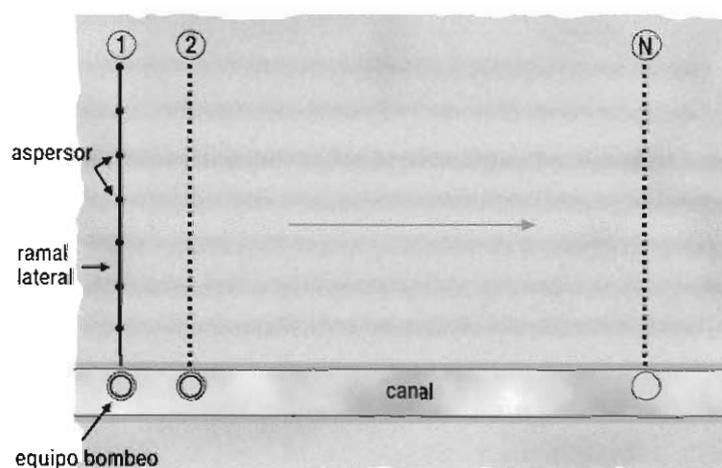


Figura 20. Esquema de un sistema móvil de aspersión.

Normalmente estos equipos **suelen usarse en parcelas pequeñas o para dar riegos complementarios**. También se usan en parcelas de mayor tamaño por requerir una inversión inicial reducida, aunque su uso tiende a ser cada vez menor debido al problema que suponen las fugas de agua en las conexiones de las tuberías. Se estima que en parcelas de gran tamaño tales fugas pueden suponer entre un 10 y un 15 % del agua aplicada con el riego.

Los inconvenientes más destacables son que tienen un elevado coste de explotación (mano de obra para realizar los cambios de posturas, transporte de tuberías, etc.), problemas en el cambio de postura (ya que es preciso programar bien el resto de tareas que requiere el cultivo) y problemas en el manejo de los elementos que componen el sistema (aspersores torcidos, ramales mal alineados, etc.).

- **SEMIFIJOS:** Son aquellos que normalmente **tienen fijos el equipo de bombeo y la red de tuberías principales**, las cuales suelen ir enterradas. También en caso de existir tuberías secundarias y terciarias, irían enterradas. Pueden ser a su vez:

— **de tubería móvil**, cuando el *ramal de aspersión se cambia de toma o boca de riego con los cambios de posturas de riego*. Es frecuente que los ramales lleven directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras que desplazan a los aspersores una determinada distancia (30 a 45 metros) pudiéndose realizar varias posturas de riego sin necesidad de cambiar el ramal de aspersión.





Figura 21. Sistema de aspersión semifijo con mangueras desplazables.

- **de tubería fija**, cuando el ramal está enterrado en el suelo y al cambiar de postura se mueven los portaaspersores y aspersores
- **Fijos**: Son aquellos sistemas que **mantienen inmóviles todos los elementos que componen la instalación**. Son sistemas de **cobertura total**, en los que los aspersores mojan toda la superficie que compone una unidad de riego. Se pueden diferenciar:
 - **sistemas fijos permanentes**, que son los que mantienen fijos todos sus elementos durante la vida útil de la instalación, por lo que **todas las tuberías deben estar enterradas**. Requieren mucho cuidado y vigilancia en las operaciones de preparación de suelo y durante la campaña de cultivo con objeto de no dañar las tuberías y los tubos portaaspersores. Son muy usuales en jardinería.
 - **sistemas fijos temporales**, los cuales se instalan al principio de la campaña de riego y se retiran al final de la misma, lo que implica que los ramales y sus tuberías de alimentación se encuentran sobre la superficie del terreno.

Es preciso tener precaución al instalar aspersores de bajo caudal **cuando se emplean sistemas de cobertura total**. Con frecuencia, la presión de trabajo de dichos aspersores pulveriza demasiado el agua y se originan uniformidades muy bajas.

Sistemas de desplazamiento continuo

Son aquellos sistemas que **se encuentran en movimiento mientras aplican el agua**. Los más usuales son los pivotes, los laterales de avance frontal y los cañones enrolladores.

- **PIVOTES O "PIVOT"**: Son **equipos de riegos autopropulsados** que están constituidos fundamentalmente por una estructura metálica (ala de riego) que soporta la tubería con los emisores. La máquina **gira alrededor de un extremo fijo** (punto pivote), por donde recibe el agua y la corriente eléctrica y en donde se sitúan los elementos de control. **El ala describe un círculo o sector circular girando alrededor del extremo fijo**, y sobre ella se sitúan los aspersores, mien-

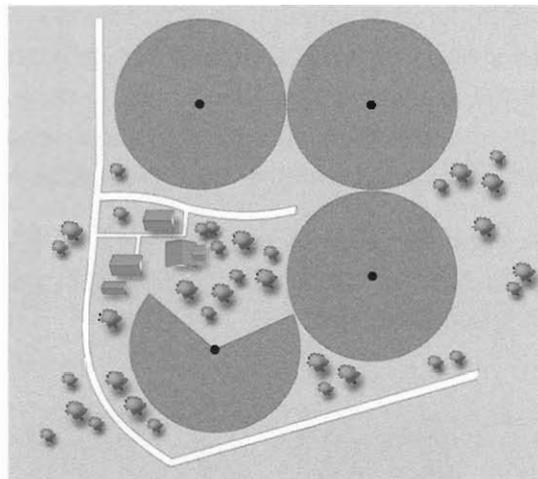


tras que en el extremo libre se suele instalar un aspersor de gran caudal para cubrir una distancia comprendida entre 15 o 20 metros.



Figura 22. Sistema de riego pivote o "pivot".

El ala de riego está sostenida por unas torres metálicas con ruedas que están accionadas por motores eléctricos. Todos los tramos que forman el ala están alineados mediante unos sensores que actúan sobre el sistema motor. Dependiendo del número de tramos instalados se logra una longitud del equipo de riego comprendida entre 50 y 800 metros, lo que permite adaptar el modelo al tamaño de la finca.



Los factores que limitan este sistema de riego son **la topografía, el tipo de suelo a regar y el tamaño de la parcela**, de tal manera que no se recomienda que la pendiente sea superior al 15 - 20 %, ni que el suelo sea muy arcilloso, lo que puede ocasionar fallos de tracción en las ruedas y que el sistema se detenga.

El "pivot" se adapta a todos los cultivos excepto aquellos donde la altura de las plantas o características del cultivo impida el paso de la máquina. Las características idóneas para este sistema

de riego son terrenos llanos y suelos ligeros (de textura arenosa), llegándose a obtener una *eficiencia de aplicación* en torno al 80 - 85 %.

- **LATERALES DE AVANCE FRONTAL:** Este sistema es más conocido como “ranger” y su estructura es semejante a la del sistema “pívot”. Consiste en un **ala de riego que se desplaza frontalmente regando superficies de forma rectangular**. Uno de los extremos del ala sirve de captación de agua y energía eléctrica, es autopropulsado y provoca el avance del ala de riego.



Figura 23. Sistema de riego lateral de avance frontal o “ranger”.

Las tomas de agua y electricidad han de ser móviles lo cual ocasiona mayor dificultad de instalación y funcionamiento, y además requieren una mayor inversión que el “pívot”, siendo su manejo algo más complicado.

- **CAÑONES DE RIEGO:** Utiliza aspersores de impacto de gran tamaño, denominados “cañones”, **que trabajan a altas presiones y mojan grandes superficies de terreno**. Van instalados sobre un carro o patín adaptable a distintas anchuras y alturas, según lo requiera el cultivo, y conectado al suministro de agua mediante una manguera. El equipo siempre riega hacia atrás con respecto al sentido de avance, consiguiéndose de esta manera que se desplace sobre suelo seco.

La modalidad más usada es la de cañones enrolladores, constituidos por un cañón instalado sobre un carro o patín con ruedas arrastrado por la propia manguera, que se enrolla en un tambor accionado por la propia presión del agua.



Figura 24. Cañón de riego tipo enrollador.

Los cañones **pueden regar bandas de más de 100 metros de anchura y hasta 500 metros de largo**. Estos sistemas están indicados para climas y cultivos en donde la lluvia permite espaciar los riegos, o bien donde se necesitan riegos de apoyo. Los cultivos que mejor se adaptan a este sistema de riego son aquellos que cubren una gran proporción de superficie de suelo.

El riego con cañones ofrece la ventaja de que se requiere una **inversión inicial baja** con relación a la superficie regada, sin embargo **necesitan una elevada presión de trabajo** (normalmente entre 4 y 10 kg/cm²). Además, el impacto de grandes gotas sobre el cultivo y el suelo puede ser perjudicial para el cultivo, sobre todo cuando éste se encuentra en germinación, fase inicial de desarrollo o floración. Por último, son sistemas muy afectados por el viento, debido a la gran altura y longitud que alcanza el chorro de agua, lo que supone **uniformidad de aplicación más baja que otros sistemas de aspersión**.

CRITERIOS PARA SU ELECCIÓN

Para elegir un tipo de sistema de riego u otro, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Actualmente se tiende a utilizar sistemas de baja presión que permitan el riego nocturno (por menor evaporación, velocidad del viento y coste energético) y sean de fácil manejo y automatización. En caso de grandes superficies, el “pívor” es el sistema que mejor se adapta.
- Cuando el tamaño de la parcela es pequeño o bien de forma irregular, los mejores sistemas que se adaptan son los fijos.
- La tendencia a utilizar los sistemas semifijos cada vez es menor debido a que, aunque la inversión inicial es inferior que en los sistemas fijos, las necesidades en mano de obra son elevadas.
- Los laterales de avance frontal (“rangers”) son muy adecuados para parcelas rectangulares de gran longitud, consiguiéndose una alta uniformidad de riego con baja presión, pero requieren mayor inversión que los “pívots” y un manejo más complicado.
- El sistema “pívor”, debido a su movilidad, adaptabilidad a diferentes condiciones de parcelas y cultivos y a la utilización de bajas presiones, está sustituyendo en gran medida a los cañones de riego. Sin embargo, éstos requieren menor inversión que los “pívots” y son de más fácil manejo y mantenimiento.



Resumen

El método de riego por aspersión es aquel en el que el agua se distribuye en forma de lluvia sobre la superficie del terreno tras circular a través de conducciones cerradas a presión y salir por los aspersores, elementos encargados de distribuirla sobre el terreno.

La red de distribución está constituida por tuberías y elementos o piezas especiales que pueden ser de distintos materiales, diámetros, etc. Puede tener un mayor o menor grado de movilidad, clasificándose en fija, móvil y mixta. En general el sistema se encarece cuanto más fija sea la red de distribución.

Los aspersores son aquellos elementos de la instalación encargados de distribuir el agua sobre el terreno en forma de lluvia. Estos se clasifican atendiendo al mecanismo de giro (de impacto, turbina y rotativos), según el área mojada (circulares y sectoriales) y según la presión de trabajo (de baja, media y alta presión). Cada tipo se adapta mejor a unas condiciones determinadas de tamaño de la parcela y tipo de cultivo.

Los sistemas de aspersión se clasifican atendiendo al grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. Normalmente se distinguen los sistemas estacionarios (móviles, semifijos y fijos) y los sistemas de desplazamiento continuo (pivotes o "pívots", laterales de avance frontal o "rangers" y cañones enrolladores).



Autoevaluación

1. En referencia al método de riego por aspersión, indicar cuál de las siguientes afirmaciones es cierta:
 - a) En general, el riesgo de provocar enfermedades es muy bajo
 - b) Es un método que se adapta muy bien a las condiciones extremas de viento
 - c) Permite regar superficies de terrenos muy ondulados o poco uniformes
 - d) Sólo permite regar suelos de textura arcillosa
2. En la red de distribución, cuando las tuberías que forman la red principal son fijas, lo más habitual es que se empleen los siguientes materiales:
 - a) Fibrocemento y PVC
 - b) Polietileno
 - c) Aluminio
 - d) PVC y aluminio
3. En un ramal de aspersión de aluminio formado por tubos de 6 metros de longitud, la unión de las tuberías se consigue mediante uniones:
 - a) Estancas y neumáticas
 - b) De rosca y embutidas
 - c) Mecánicas y neumáticas
 - d) Mecánicas e hidráulicas
4. Cuando el agua circula por el tubo portaaspersor y sale por el aspersor, provoca un movimiento que hace oscilar el tubo; para evitar este movimiento se debe tomar la siguiente medida:
 - a) Utilizar soportes estabilizadores (picas, trípodes)
 - b) Se reduce la altura del tubo portaaspersor
 - c) Se reduce la presión del agua para evitar el movimiento
 - d) Se utilizan aspersores de menor caudal
5. En una parcela, uno de los ramales de aspersión se encuentra ubicado en la linde de una carretera. ¿Qué tipo de aspersor instalaría?
 - a) Circular
 - b) De engranajes
 - c) Sectorial
 - d) Pivot
6. Los aspersores de alta presión conocidos como “cañones”, se utilizan principalmente en las siguientes condiciones:
 - a) En suelos arcillosos de baja velocidad de infiltración
 - b) Cuando el cultivo es muy pequeño o se encuentra en germinación
 - c) Cuando se dispone al menos de una presión de trabajo de 1.5 kg/cm²
 - d) En climas y cultivos donde la lluvia permite espaciar los riegos, o bien donde se necesitan riegos de apoyo
7. Los sistemas de aspersión de desplazamiento continuo integran principalmente
 - a) Sistemas “pívots”, “rangers” y cañones enrolladores
 - b) Sistemas fijos y desplazables
 - c) Sistemas permanentes y “rotator”
 - d) Sistemas estacionarios y de desplazamiento lateral
8. El tamaño de la gota emitida por un aspersor puede influir en:
 - a) La evaporación directa que se produce en la pulverización del chorro del agua a la salida del aspersor
 - b) Erosión sobre el terreno
 - c) Daños en el cultivo
 - d) a, b y c son correctas
9. En general se puede afirmar de un sistema de riego por aspersión que:
 - a) Se aprovecha peor el terreno que en el riego por superficie
 - b) En caso de tener que dar riegos de lavado de sales, este método no es tan eficaz como el riego por superficie
 - c) Se utiliza de un modo eficaz en la lucha contra heladas
 - d) Es muy adecuado para evitar problemas de salinidad en la parte aérea de las plantas



3.1 Introducción

El diseño de una instalación de riego por aspersión es de gran importancia porque permitirá **conocer la capacidad del sistema y su adaptación para el riego de determinados cultivos**.

El proceso de diseño de una instalación de riego por aspersión **comienza reuniendo información de tipo agronómico** acerca del tipo de suelo, cantidad y calidad de agua, clima y cultivos, así como sobre la *topografía* y dimensiones de la zona a regar. También habrá que considerar la capacidad del agricultor para soportar el coste de la instalación y su explotación, la viabilidad para realizar las técnicas de cultivo, y la posibilidad de formación para el manejo de la instalación.

Con toda esta información se definirán las características generales del sistema y se procederá a **la planificación y el cálculo hidráulico** (diámetros de tuberías, caudales, presiones, características del *sistema de bombeo*, etc.), de acuerdo con las limitaciones de tipo económico, de mano de obra y del entorno.

Aunque sea una división muy artificial y demasiado esquemática, se pueden considerar dos fases en el proceso de diseño: el **diseño agronómico**, con el que se determina la cantidad de agua que requiere el cultivo en las épocas de máximas necesidades, el tiempo de riego, etc.; y el **diseño hidráulico** que permitirá determinar las dimensiones de los componentes de la instalación, de forma que se pueda suministrar el agua necesaria en épocas de máxima necesidad.





Es, por tanto, una tarea compleja que habrá de ser bien realizada, por lo que siempre será conveniente que intervengan **técnicos con la cualificación necesaria**. Igualmente, **será preciso que el agricultor conozca unos criterios generales y tenga una idea global del proceso** de diseño, de manera que facilite información al proyectista eficazmente y pueda participar con mayor conocimiento y mayor exigencia en la toma conjunta de decisiones.



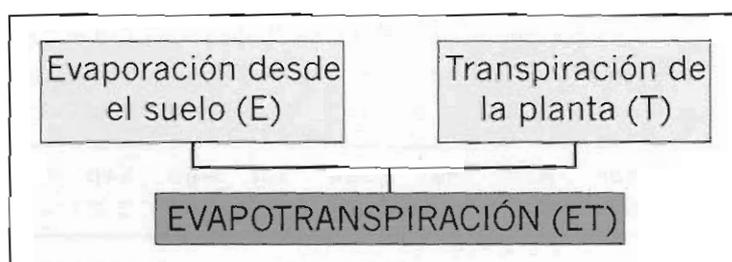
Figura 2. El diseño es una labor destinada a personal técnico cualificado, pero es preciso que el agricultor participe en la toma de decisiones.

3.2 Diseño Agronómico

NECESIDADES DE RIEGO

En la Unidad Didáctica 6 del Módulo 1 “Fundamentos del Riego” se describe el proceso para la estimación de las necesidades de riego. A continuación sólo se tratarán ciertas consideraciones a tener en cuenta cuando se estime la cantidad de agua que requieren los cultivos con fines de diseño.

El cultivo consume agua para poder desarrollarse adecuadamente, lo que permitirá obtener altas producciones y calidades. Las necesidades de agua de los cultivos se consideran **representadas por la evapotranspiración (ET)**, que incluye por una parte el agua que los cultivos extraen del suelo a través de las raíces y pasa a la atmósfera a través de las hojas, y por otra la evaporación directa desde el suelo.



El cálculo de la evapotranspiración se realiza a partir de la denominada **evapotranspiración de referencia (E_{Tr})**, que recoge principalmente la influencia del clima, y del **coeficiente de cultivo (K_c)** que depende de cada cultivo y su estado de desarrollo.

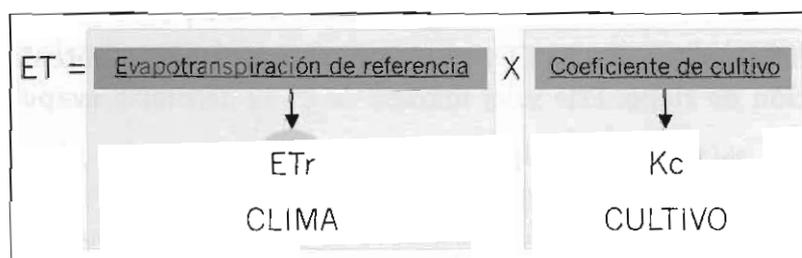


Figura 4. Representación esquemática del cálculo de la Evapotranspiración (ET).

Los valores de evapotranspiración de referencia (E_{Tr}) se dan en milímetros al día (mm/día) y normalmente proceden de valores medios mensuales. Sin embargo, habrá días o grupos de días en los que los valores de E_{Tr} serán mayores que estas medias mensuales, y por tanto serán mayores las necesidades de riego.

EJEMPLO

En el proceso de diseño de una instalación de riego por aspersión se sabe que la evapotranspiración de diseño (ETd) es 9.7. Si se estima que la eficiencia de aplicación del sistema es 85 %, las necesidades brutas de riego durante la época de máxima demanda serán:

$$\text{Necesidades brutas de riego (máximas)} = \frac{9.7}{85} \times 100 = 11.4 \text{ milímetros/día}$$

MARCO DE LOS ASPERSORES

El marco es la **separación entre los aspersores del mismo ramal de aspersión y entre dos ramales consecutivos**, y determina el *solape* entre las zonas regadas por aspersores contiguos. Con el objetivo de conseguir una lluvia uniforme se elegirá conjuntamente el tipo de *aspersor* y el marco, tratando de evitar que las zonas más alejadas de los aspersores reciban menos agua.

Los marcos más frecuentes son el cuadrado, el rectangular y el triangular o al tresbolillo. La **superficie del suelo que riega cada aspersor** según cada uno de estos marcos está determinada por la distancia entre aspersores y ramales, de forma que:

• **Marco cuadrado:**

Superficie = Distancia entre aspersores x Distancia entre ramales = $D_a \times D_a$

Las distancias entre aspersores y ramales más utilizadas son: 12 x 12, 15 x 15 y 18 x 18.

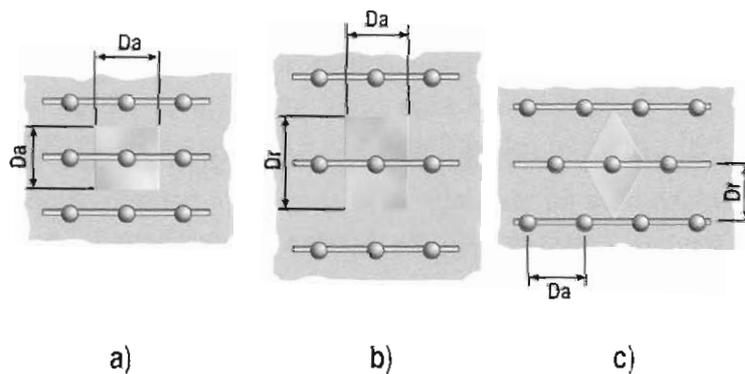


Figura 5. Representación esquemática de la superficie que riega cada aspersor para
a) marco cuadrado; b) marco rectangular; c) marco triangular o al tresbolillo.

• **Marco rectangular:**

Superficie = Distancia entre aspersores x Distancia entre ramales = $D_a \times D_r$

Las distancias más frecuentes entre aspersores y ramales son respectivamente: 12 x 15, 12 x 18 y 15 x 18.

- **Marco triangular:**

Superficie = Distancia entre aspersores x Distancia entre ramales = $D_a \times D_r$

Las distancias más utilizadas son: 18 x 15 y 21 x 18 respectivamente.

Con cualquiera de los marcos, las **distancia mayores pueden presentar mayores problemas de aplicación del agua cuando hay viento**, pues aunque el *alcance* de los aspersores sea suficiente el chorro se verá más alterado.

EJEMPLO

En el diseño de una instalación de riego por aspersión se establece un marco cuadrado con separación entre aspersores de 12 metros. Como el marco es cuadrado, la separación entre ramales también será de 12 metros, por lo que la superficie de suelo que riega cada aspersor será:

$$\text{Superficie} = 12 \times 12 = 144 \text{ metros cuadrados}$$

LLUVIA MEDIA DEL SISTEMA

Es la **intensidad de lluvia que se aplica con una instalación de riego por aspersión**, suponiendo que el agua se reparte de manera completamente uniforme. Se suele expresar en milímetros por hora (mm/h). Para calcularla es preciso saber el caudal que suministran los aspersores y la superficie que riega cada uno de ellos:

$$\text{Lluvia media (mm/h)} = \frac{\text{Caudal (litros/hora)}}{\text{Superficie (metros cuadrados)}}$$

EJEMPLO

Si el caudal de un aspersor es de 1.000 litros/hora y la superficie de suelo que moja cada aspersor de la instalación es de 144 metros cuadrados, la lluvia media del sistema es:

$$\text{Lluvia media} = \frac{\text{Caudal (litros/hora)}}{\text{Superficie (metros cuadrados)}} = \frac{1.000}{144} = 6.95 \text{ mm/h}$$

Cuando se diseña un sistema de riego por aspersión es muy importante tener en cuenta que **la lluvia media del sistema debe ser menor que la velocidad de infiltración del suelo**, pues de lo



contrario éste no podrá infiltrar el agua que aplican los aspersores y se producirán pérdidas por escorrentía. A su vez, si el terreno tiene pendiente, **el agua de escorrentía puede provocar la erosión** y pérdida tanto de suelo como de los nutrientes que se encuentran en las capas más superficiales.



Figura 6. Escorrentía y erosión del suelo originadas en un sistema de aspersión sobre un terreno con cierta pendiente.

FRECUENCIA Y TIEMPO DE RIEGO

El **intervalo entre riegos** es el tiempo transcurrido entre la aplicación de un riego y el siguiente. Cuanto menor sea dicho intervalo, mayor será la **frecuencia de riegos**.

Una alta frecuencia de riegos encarecerá el coste del riego tanto más cuanto más mano de obra requiera. Además, en las primeras fases del cultivo, cuando éste no cubre totalmente el suelo, pueden incrementarse las necesidades de agua al ser mayor la evaporación si el suelo se humedece con frecuencia. Por otro lado, **una frecuencia de riegos baja puede dar lugar a disminuciones en la producción** al aumentar el riesgo de que el cultivo sufra falta de agua.

Para un cultivo dado se puede afirmar que **el riego deberá ser más frecuente:**

- cuanto menos profundo sea el suelo
- cuanto menor sea la profundidad que alcanzan sus raíces
- cuanto menor la capacidad del suelo para retener agua (más arenoso)
- cuanto mayor sea la evapotranspiración (ET)
- cuanto peor sea la calidad del agua de riego

En general, **no es conveniente que el intervalo entre riegos sea mayor de una semana** en plena campaña de riego cuando las necesidades son máximas, pudiendo llegar a las dos semanas al inicio y final del cultivo.



El **tiempo de riego** es el tiempo que debe estar funcionando la instalación para aplicar las *necesidades brutas de riego*. Se calcula simplemente dividiendo las necesidades brutas de riego por la *lluvia media*. El tiempo de riego utilizado para el diseño será el necesario para el **periodo en el que las necesidades de agua son máximas**, por lo que habitualmente el tiempo real de riego será menor.

$$\text{Tiempo de riego (horas)} = \frac{\text{Necesidades brutas de riego (milímetros)}}{\text{Lluvia media (milímetros/hora)}}$$

EJEMPLO

Con una instalación de riego por aspersión se quiere regar cada cinco días en periodo de máxima demanda. Las necesidades brutas en dicho periodo son de 11.4 milímetros/día. Por tanto, las necesidades brutas a aplicar con cada riego se calcularán multiplicando las necesidades de cada día por el número de días que se está sin regar:

$$\text{Necesidades brutas} = 11.4 \times 5 = 57 \text{ milímetros}$$

Si la lluvia media del sistema es de 7 milímetros por hora, el tiempo de riego será:

$$\text{Tiempo de riego (horas)} = \frac{\text{Necesidades brutas de riego (milímetros)}}{\text{Lluvia media (milímetros/hora)}} = \frac{57}{7} = 8.14 \text{ horas}$$

es decir, unas 8 horas y cuarto.

Cuando un sistema de riego por aspersión está compuesto por más de una *unidad de riego*, lo que suele ser muy frecuente, es preciso diferenciar entre el tiempo de riego de cada una de tales unidades y el **tiempo total de riego**, que será la suma del tiempo de riego de cada una de ellas. Cuando se trate de *sistemas de riego móviles* habrá que tener en cuenta el tiempo invertido en su desplazamiento.

EJEMPLO

Si un sistema de riego por aspersión consta de 10 unidades de riego y cada una de ellas riega durante 8 horas y cuarto, el tiempo total que se invierte en un riego es:

$$\text{Tiempo total de riego} = 8.25 \times 10 = 82 \text{ horas y media}$$



Suponiendo que la instalación se quiera regar cada 5 días, se puede observar como en el riego se invierten unas 83 horas de las 120 que tienen los 5 días. Se podría haber elegido una combinación de marco más amplio y aspersor de menor caudal que diera lugar a una *lluvia media* menor, y con ello la instalación probablemente tendría menos coste. Pero tampoco es conveniente incrementar mucho el tiempo de riego, ya que es preciso **reservar tiempo para resolver posibles averías, dejar tiempo para realizar las labores de cultivo, mover los ramales si son móviles, etc.**

3.3 Diseño Hidráulico

Con el diseño hidráulico se determinarán las **dimensiones de todos los componentes de la instalación de riego**, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo; otro objetivo es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se podrán obtener buenas producciones con el menor gasto de agua.

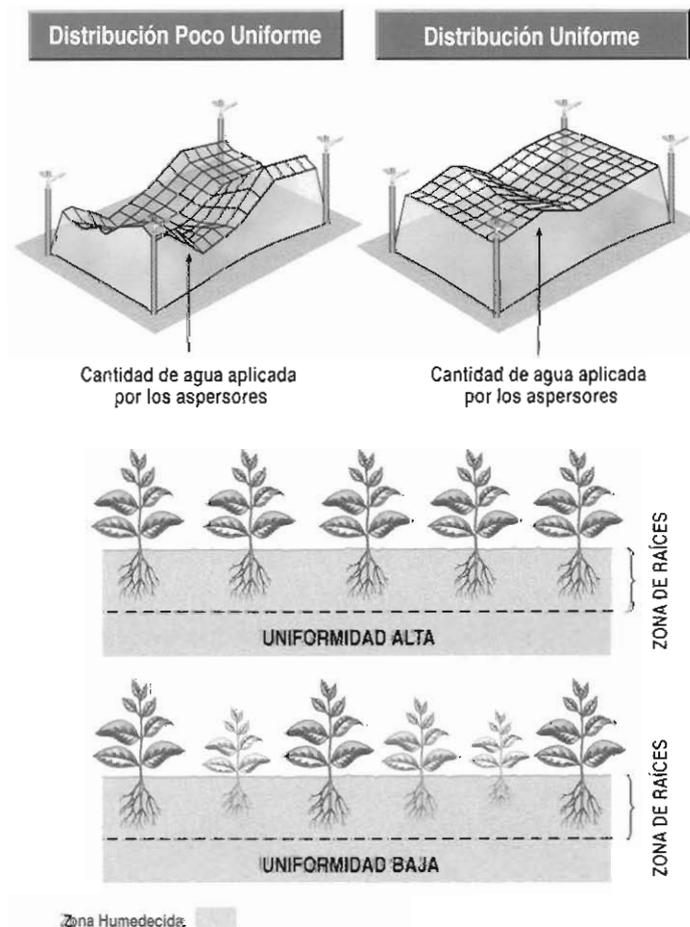


Figura 7. La uniformidad de distribución afecta al desarrollo homogéneo del cultivo y a su producción final.



Es preciso, sin embargo, hacer una importante anotación: **el valor de uniformidad de aplicación que se utilizará en el proceso de diseño hay que elegirlo previamente.** Hay que tener en cuenta que optando por una uniformidad alta, se estará eligiendo una instalación de riego que **ahorrrá agua e incrementará la producción de los cultivos**, lo que siempre es necesario. Pero también **será mayor el coste de la instalación** ya que las presiones deberán ser más uniformes, mayores los diámetros de tuberías, se necesitará mayor longitud de tuberías, serán necesarios *reguladores de presión*, etc.

Así pues, habrá que llegar a un equilibrio, eligiendo una uniformidad lo suficientemente elevada que permita aprovechar el agua al tiempo que se obtienen buenas producciones, sin que el coste sea excesivo. En cualquier caso, el *coeficiente de uniformidad (CU)* elegido deberá ser mayor o igual que 75 %.

Para lograr una buena uniformidad de aplicación del agua será necesario que la presión en todos los aspersores a lo largo del *ramal de aspersión* sea similar. Como ya se ha comentado anteriormente, el agua perderá presión a su paso por las tuberías, en las conexiones, piezas especiales, etc., lo que se conoce como pérdida de carga. También **se perderá presión si la tubería es ascendente**, mientras **la ganará si es descendente**.

Debido a las pérdidas de carga y a las pendientes, se producirá una diferencia de presión entre los diferentes ramales portaaspersores colocados a lo largo de una tubería secundaria y entre distintos aspersores de un mismo ramal.

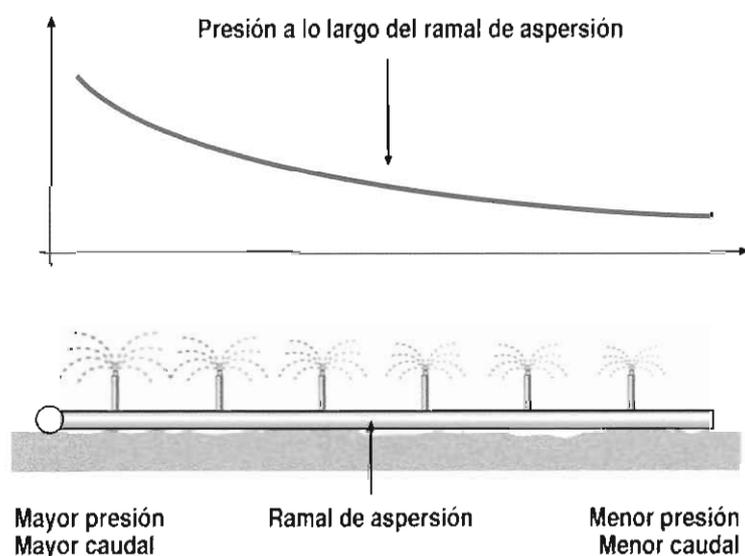


Figura 8. A lo largo de un ramal de aspersión se produce pérdida de presión que se traduce en menores caudales suministrados.

Para que las diferencias de presión dentro del mismo ramal sean lo menores posible, se intentará colocar los **ramales siguiendo aproximadamente las curvas de nivel** o bien ligeramente descendentes; en cualquier caso, los ramales de aspersión **deben instalarse paralelos a las líneas de**

Resumen

El diseño de la instalación de riego por aspersión está encaminado a determinar la capacidad del sistema y su aptitud para ser usado en diferentes cultivos. Puede dividirse en el diseño agronómico, donde se analizan aspectos relacionados con el clima, los cultivos, el suelo y costes de explotación, entre otros; y el diseño hidráulico, con el que se llegarán a determinar las dimensiones y características de los componentes de la instalación. Es una labor destinada a personal técnico cualificado, aunque es deseable que el agricultor conozca el proceso de diseño y colabore tomando decisiones según sus criterios.

El diseño agronómico permitirá determinar las necesidades de agua del cultivo en la época en que éste necesita mayor cantidad. Para ello es preciso tener en cuenta la influencia del clima (evapotranspiración de referencia) y del cultivo (coeficiente de cultivo), lo que proporcionará valores de evapotranspiración. Junto a otras características como marco de aspersión, lluvia media del sistema, intervalo entre riegos y eficiencia de aplicación del sistema de riego, se podrá calcular el tiempo de riego necesario para aplicar el agua requerida por el cultivo.

Para aplicar las necesidades de riego brutas eficientemente es preciso contar con un sistema de riego bien diseñado. Se debe elegir una uniformidad de aplicación suficientemente alta para conseguir que el cultivo se desarrolle lo más homogéneamente posible, lo que implica que las presiones se mantengan dentro de unos límites determinados y en consecuencia también lo sean los caudales aplicados. Asimismo, existen otra serie de recomendaciones que serán aplicables en mayor o menor medida según las características de cada sistema.



Autoevaluación

1. El factor que refleja la influencia del clima en las necesidades de agua de cada cultivo se denomina:
 - a) Evapotranspiración (ET)
 - b) Evapotranspiración de referencia (ET_r)
 - c) Coeficiente de cultivo (K_c)
 - d) Necesidades netas de riego
2. Para el diseño de una instalación de riego por aspersión, cuando se disponen de valores medios mensuales de la evapotranspiración de referencia (ET_r), será necesario:
 - a) Multiplicarlos por 1.15
 - b) Dividirlos por 1.15
 - c) Restarles 1.15
 - d) Multiplicarlos por 1, es decir, no modificarlos
3. La evapotranspiración de diseño (ET_d) es equivalente a las necesidades netas máximas.
Verdadero / Falso
4. Las necesidades brutas de riego son el agua que necesita el cultivo para alcanzar buenas producciones.
Verdadero / Falso
5. El tiempo de riego se calcula:
 - a) Sumando la lluvia media del sistema a la superficie que corresponde a cada aspersor.
 - b) Restando la lluvia media del sistema a la superficie que corresponde a cada aspersor.
 - c) Multiplicando la lluvia media del sistema por la superficie que corresponde a cada aspersor.
 - d) Dividiendo la lluvia media del sistema por la superficie que corresponde a cada aspersor.
6. Al diseñar una instalación de riego por aspersión, el coeficiente de uniformidad elegido no deberá ser inferior al:
 - a) 95 %
 - b) 90 %
 - c) 80 %
 - d) 75 %
7. Las diferencias de caudal entre el aspersor que suministra mayor cantidad y el que suministra menos no deberán ser mayores que:
 - a) Un 20% del caudal medio de todos los aspersores.
 - b) Un 10% del caudal medio de todos los aspersores.
 - c) Un 20% del caudal máximo.
 - d) Un 10% del caudal máximo.
8. En la medida de lo posible, los ramales portaspersores se colocarán:
 - a) Siguiendo la máxima pendiente
 - b) Paralelos a las líneas del cultivo
 - c) Todo lo largos que sea posible
 - d) Subiendo la pendiente que tenga la parcela a regar
9. El tiempo transcurrido entre la aplicación de un riego y el siguiente se denomina:
 - a) Tiempo total de riego
 - b) Tiempo de riego de una unidad
 - c) Frecuencia de riego
 - d) Intervalo entre riegos



4.1 Introducción

La evaluación de un sistema de riego por aspersión es un proceso por el que se puede saber si la instalación y el manejo que se hace de ella **reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuadamente**, esto es, cubriendo las necesidades del cultivo para la obtención de máximas producciones y al mismo tiempo minimizando las pérdidas de agua.

Con los resultados obtenidos se pueden proponer cambios, con frecuencia sencillos de realizar, que repercutirán en la mejora del riego. Así, el funcionamiento de un sistema de riego por aspersión puede mejorar sustancialmente variando la presión de trabajo, tamaño de boquillas, altura de *aspersores*, tiempo de las *posturas de riego*, cambiando el material desgastado, etc.

Las evaluaciones deberán realizarse, en general, **en las condiciones normales de funcionamiento** de forma que lo observado coincida con la situación usual durante la aplicación de los riegos.

Los principales **aspectos a tener en cuenta** al realizar una evaluación son los siguientes:

- Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el mantenimiento es adecuado.
- Determinar los caudales reales aplicados por los *aspersores* a la presión de trabajo y la *lámina de agua aplicada* al campo por unidad de tiempo.
- Determinar la *uniformidad de aplicación* del agua.
- Determinar la *eficiencia de aplicación* del riego.
- Analizar los criterios seguidos por el usuario del riego para decidir la *lámina de agua* a aplicar (generalmente reservado a personal técnico cualificado).
- Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear las soluciones más sencillas y económicas (generalmente reservado a personal técnico cualificado).



Es muy importante **realizar una evaluación recién finalizada la instalación**; se comprobará así que las prestaciones en cuanto a la capacidad de aportar una cantidad de agua con una determinada uniformidad coincidan con lo proyectado. También es conveniente conocer **al principio de cada campaña de riegos** la cantidad de agua que aplica el sistema por unidad de tiempo y su uniformidad, con lo que se podrá decidir el tiempo de riego. Asimismo, deberá realizarse **una evaluación del sistema de riego cuando existan motivos para sospechar la existencia de cambios** en la uniformidad o en la lámina de agua aplicada.

4.2 Evaluación de los componentes de la instalación

Básicamente consistirá en realizar una **inspección a simple vista de los componentes del sistema**, desde tuberías, juntas, elementos de control, piezas especiales, etc.

En primer lugar se comprobará si los aspersores son idénticos en marca, modelo, tipo y diámetro de boquillas y altura. Es fundamental que, al menos, los aspersores instalados en un mismo *ramal de aspersión* sean idénticos.

Se comprobará la existencia de fugas en las juntas entre tubos de aspersión y cualquier elemento de la instalación, principalmente en las conexiones a las *tomas o bocas de riego*.

Finalmente deberá anotarse la existencia o no elementos de medida y control de agua, la cantidad que existe de cada uno, su ubicación y estado general: *manómetros* o tomas manométricas, reguladores de presión, contadores, etc.

4.3 Evaluación de la uniformidad del riego

En un sistema de riego es muy importante conocer si el agua se está aplicando de manera uniforme. Una baja uniformidad implica la existencia de zonas del suelo con **exceso de agua y otras con escasez**, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas. Lo anterior supondrá que en determinadas zonas del campo **no se conseguirán producciones satisfactorias**.



Figura 1. Una baja uniformidad de aplicación supone que puedan existir importantes diferencias en el desarrollo del cultivo y en la producción final.

La evaluación tendrá como objetivo determinar el coeficiente de uniformidad de la *unidad de riego* (CU), para lo cual se calculará primero el de una zona de dicha unidad seleccionada previamente (CUzona). Es habitual **considerar que el coeficiente de uniformidad de la unidad es similar al de la zona**, aunque existe un procedimiento en el que es preciso medir presiones además de caudales para calcular CU con precisión.

Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego por aspersión el primer paso es **elegir la zona a evaluar**. Deberá ser representativa del sistema en cuanto a características de los aspersores, *marco de riego*, número de boquillas y diámetro. También debe tener una presión cercana a la media (lo que ocurre a un tercio del inicio de los ramales de aspersión si no existe pendiente o es reducida) o a la mínima (lo que se produce al final de los ramales si la pendiente es nula o ascendente).

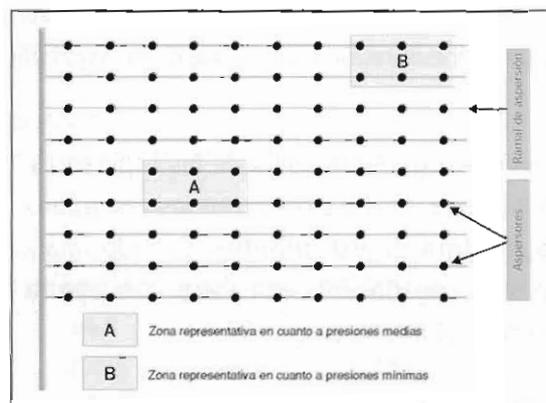


Figura 2. Esquema de una zona representativa para realizar la evaluación del sistema de aspersión en un terreno sin pendiente o poca pendiente.

Antes de comenzar el riego, se colocará una **red de vasos pluviométricos formando una malla de 3x3 metros** entre dos ramales, que recogerán agua de seis aspersores según se indica en la Figura 3. Como vaso podrá utilizarse cualquier recipiente que tenga al menos **12 centímetros de diámetro y bordes agudos y sin deformaciones**. Los vasos se instalarán sobre el suelo cuando el cultivo no altere la lluvia de los aspersores, y justo sobre el cultivo en caso contrario. Si no se dispone de suficientes vasos se podrán colocar entre cuatro aspersores.

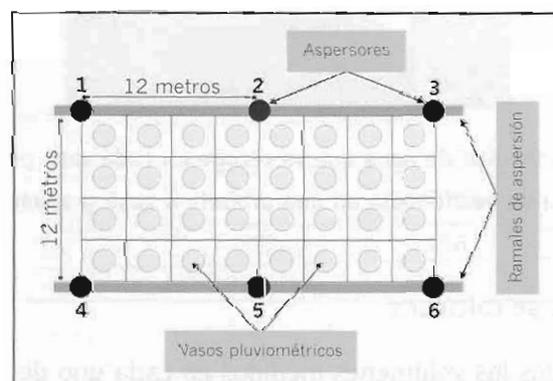


Figura 3. Esquema de la disposición de los vasos pluviométricos para la evaluación de un sistema de riego por aspersión con cobertura total.

viento. También es importante anotar del día y hora en que se realiza la evaluación, lo que permitirá obtener información sobre temperatura y viento de alguna estación meteorológica cercana.

Si la parcela se riega con un único ramal portaaspersores, los vasos se colocarán a ambos lados del ramal y se sumarán los volúmenes recogidos en los colocados a cada lado, según se muestra en la Figura 6. El procedimiento de cálculo de CUzona será idéntico en todo lo demás.

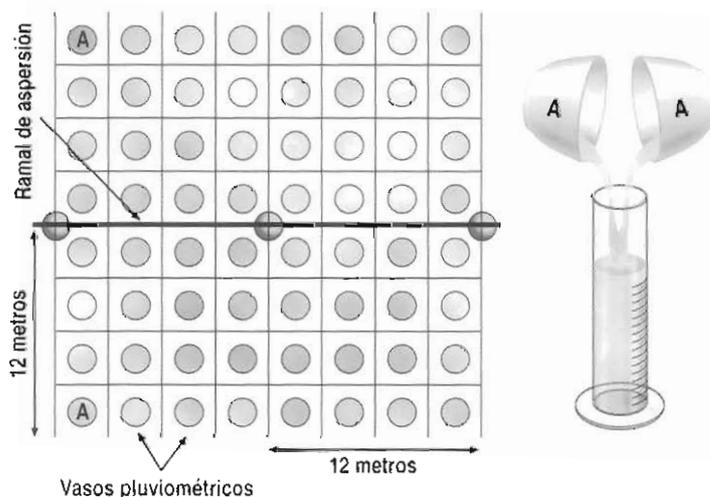


Figura 6. Cuando se riega con un solo ramal de aspersión, se sumarán los volúmenes recogidos en los vasos colocados simétricamente a ambos lados del ramal.

El caudal de cada aspersor cambiará con la presión. La diferencia de presiones en toda la unidad de riego será mayor que la existente entre los aspersores de los que se ha recogido el agua. Por esto, la uniformidad en el conjunto de la unidad (CU) será por regla general menor que la medida en la zona evaluada (CUzona).

Para calcular con precisión CU de la instalación, hay que tener en cuenta el cambio de presiones. Este procedimiento presenta cierta complejidad ya que **es preciso medir presiones en un cierto número de aspersores**; además, los cálculos son algo más complejos.

Si el agricultor tiene dificultad para realizar la evaluación de presiones, será aconsejable **que obtenga el coeficiente de uniformidad en un par de zonas diferentes**, correspondientes a dos unidades de riego donde pueda sospechar la existencia de diferencias importantes de presión. Es el caso, por ejemplo, de una zona muy alta y otra muy baja dentro de la parcela, o en la más cercana y lejana del inicio del sistema de riego. Si se observan diferencias importantes en el volumen medio recogido en los vasos o entre los CUzona obtenidos, será necesario **acudir a personal cualificado para que realice una evaluación más completa**. También será conveniente hacerlo si alguno de los CUzona es menor del 75%.

Puede continuar la lectura de esta Unidad Didáctica por el apartado 4.4.

Si por el contrario el agricultor cree que puede realizar la medida de presiones correctamente o cuenta con el apoyo de personal técnico competente, se procedería de la forma que se expone a continuación.

Para estimar la uniformidad de la unidad se medirá la presión en unos cuantos aspersores distribuidos por ella en zonas con diferentes presiones. Como mínimo se medirán **las presiones en los aspersores que mojan la zona evaluada** y en el **primer y último aspersor de los ramales** en los que se encuentran situados.

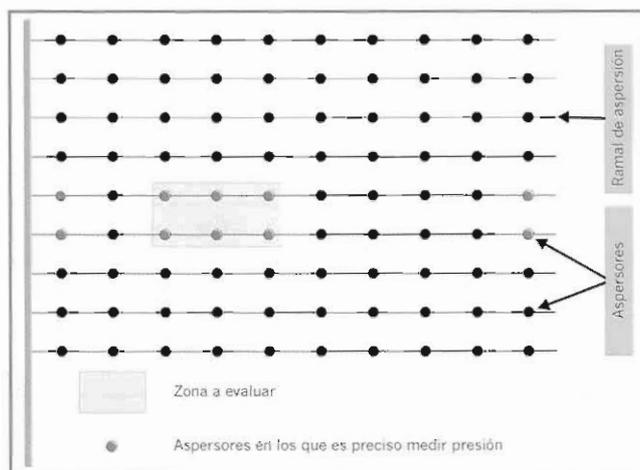


Figura 7. Ejemplo de los aspersores en los que se medirá la presión en una evaluación.



Figura 8. Medida de la presión en un aspersor utilizando un manómetro.

Con estos valores de presión se podrá determinar:

- **Primero:** La presión mínima de las que se han medido en los aspersores (P_{min}), en Kg/cm^2 .
- **Segundo:** La media de las presiones medidas en todos ellos (P_m), en Kg/cm^2 .

- Tercero: El coeficiente de uniformidad de la unidad de riego (CU), se calcula usando la expresión:

$$CU = CU_{zona} \times \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{\text{Presión mínima}}{\text{Presión media}}}}{4} = CU_{zona} \times \frac{1 + 3 \times \sqrt{\frac{P_{\min}}{P_m}}}{4}$$

Si se miden presiones en diferentes aspersores de diferentes unidades de riego y con ellas se sigue el mismo procedimiento anterior, se tendrá una buena estimación del coeficiente de uniformidad de la instalación. A continuación se indican, para diferentes tipos de sistemas de riego, valores de CU y la bondad o calidad del sistema.

Bondad o calidad del sistema	CU		
	Sistema semifijo	Sistema fijo	Sistemas de desplazamiento continuo
Mínima exigible	70 %	75 %	80 %
Calidad media	80 %	85 %	85 %
Alta calidad	Más de 85 %	Más de 90 %	Más de 90 %

4.4 Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento

En riego por aspersión existen dos factores que afectan negativamente a la aplicación del agua sobre el suelo: la **evaporación de las gotas de agua que producen los aspersores y el arrastre de dichas gotas por efecto del viento**. En las **pérdidas por evaporación y arrastre del viento** tiene gran importancia el tamaño de las gotas que dan los aspersores. Las pérdidas serán mayores cuanto mayor sea el viento y la temperatura y menor sea el tamaño de la gota que origina el aspersor.

Existe un procedimiento para calcular con cierta precisión la cantidad de agua que se pierde por evaporación o viento, si bien es algo tedioso. Si el agricultor no se ve capacitado para realizar tal procedimiento o no cuenta con apoyo técnico, puede utilizar unos valores generales para cuantificar estas pérdidas según la velocidad del viento y la humedad del ambiente y unas sencillas recomendaciones:

- En situaciones de poco viento, menor de 2 metros/segundo, las pérdidas estarán en torno al 5 %.
- En situaciones de viento moderado, entre 2 y 4 metros/segundo, las pérdidas estarán próximas al 10 %.



Estos valores deberán incrementarse si se observa que las gotas se pulverizan demasiado (probablemente el aspersor trabaja a mayor presión de la adecuada) y el ambiente es muy cálido y seco. Ocurre igual en cobertura total y con aspersores de bajo caudal donde se originan gotas muy pequeñas y fácilmente desplazables. En todos estos casos, las pérdidas pueden alcanzar valores de hasta el 20 % del total de agua aplicada por los aspersores.

Es conveniente trabajar siempre con la presión recomendada por el fabricante del aspersor, **reduciéndola moderadamente sólo en caso de existencia de viento**. Si se observara que con la presión recomendada por el fabricante se produce una gota muy fina y pérdidas importantes, o bien una uniformidad baja (menor de 75%), **será conveniente consultar con personal técnico** para que, si se estima conveniente, realice una evaluación más completa.

Puede continuar la lectura de esta Unidad Didáctica por el apartado 4.5.

Si cree estar capacitado o cuenta con ayuda competente, puede realizar la evaluación detallada de las pérdidas por evaporación o viento de la siguiente forma:

La diferencia entre la lámina de agua que aplican los aspersores (L_a) sobre la superficie en la que se han colocado los vasos y la lámina media de agua recogida en éstos (L_p) son **pérdidas debidas a la evaporación y arrastre por el viento**.

Cálculo de la lámina aplicada por los aspersores:

Se medirá el caudal de cada aspersor de los que mojan la zona evaluada con ayuda de **una manguera, un cronómetro y un bidón de plástico en el que se habrá marcado un volumen conocido** (10 - 12 litros es suficiente). Se anotará el tiempo (en segundos) que el bidón tarda en llenarse hasta la marca realizada y se seguirán los siguientes pasos:



Figura 9. Medida del caudal que suministra un aspersor. Se llena el bidón hasta la marca (véase la goma colocada en la boquilla del aspersor) y se mide el tiempo que tarda en llenarse.

- **Primero:** El caudal de cada aspersor, en litros por minuto, se calculará mediante la fórmula:

$$\text{Caudal del aspersor (litros/minuto)} = \frac{\text{Volumen de llenado del bidón (litros)} \times 60}{\text{Tiempo en llenar el bidón (segundos)}}$$

EJEMPLO

Durante una evaluación, la zona en la que se han situado los vasos ha sido mojada por 6 aspersores. Se ha medido el tiempo que cada uno de ellos tarda en llenar un bidón de 10 litros. Si el aspersor 1 ha tardado 31.1 segundos, el caudal de ese aspersor (litros/minuto) ha sido:

$$\text{Caudal del aspersor 1} = \frac{\text{Volumen de llenado del bidón} \times 60}{\text{Tiempo en llenar el bidón}} = \frac{10 \times 60}{31.1} = 19.3 \text{ litros/minuto}$$

- **Segundo:** El caudal aplicado en la zona evaluada (litros/minuto), se calculará teniendo en cuenta que si se toman seis aspersores, la cuarta parte del agua de los aspersores de las esquinas y la mitad de los otros dos cae en la zona evaluada.

EJEMPLO

En la Figura adjunta se muestra la situación de los seis aspersores del ejemplo anterior. El caudal aplicado por todos ellos en conjunto a la zona donde estaban los vasos ha sido:

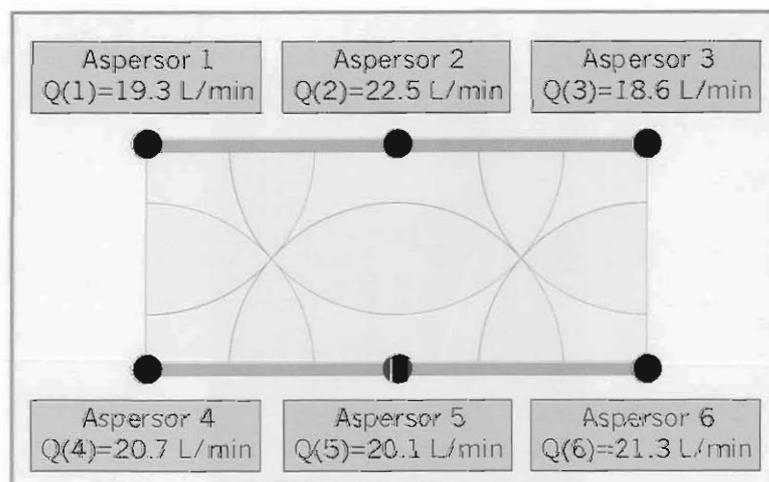


Figura 10

$$\text{Caudal aplicado} = \frac{19.3}{4} + \frac{22.5}{2} + \frac{18.6}{4} + \frac{20.7}{4} + \frac{20.1}{2} + \frac{21.3}{4} = 41.3 \text{ litros/minuto}$$



- **Tercero:** La lámina de agua aplicada por los aspersores en la zona evaluada (L_a), en milímetros, se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina de agua aplicada (La)} = \frac{\text{Caudal aplicado}}{\text{Superficie de la zona evaluada}} \times \text{Tiempo de evaluación}$$

En esta expresión, el **tiempo de evaluación es el tiempo durante el cual ha estado cayendo agua en los vasos pluviométricos** (minutos), el caudal aplicado se calcula según acaba de verse en el ejemplo anterior (litros/minuto) y la superficie de la zona evaluada es la que delimitan los aspersores que mojan los vasos (metros cuadrados).

EJEMPLO

En una evaluación se utilizan 6 aspersores situados en dos ramales de aspersión (ver Figura 11). El marco de los aspersores es 12x12 metros, el caudal aplicado por ellos en la zona donde se situaron los vasos fue 41.3 litros/minuto y el tiempo durante el que se estuvieron llenando los vasos la lámina aplicada fue de 90 minutos:

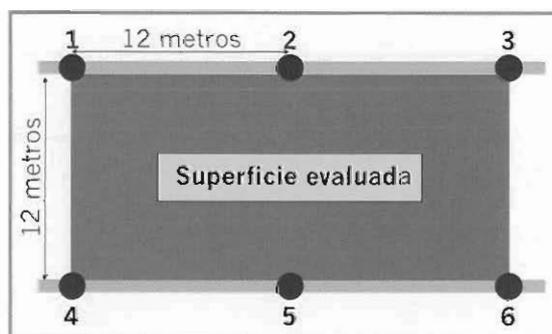


Figura 11

$$\text{Superficie evaluada} = 12 \times 12 \times 2 = 288 \text{ metros cuadrados}$$

$$\text{Lámina de agua aplicada (La)} = \frac{\text{Caudal aplicado}}{\text{Superficie evaluada}} \times \text{Tiempo de evaluación} =$$

$$= \frac{41.3}{288} \times 90 = 12.9 \text{ litros/m}^2 = 12.9 \text{ milímetros}$$

Cálculo de la lámina recogida en los vasos:

Para obtener la **lámina de agua recogida en los vasos** (L_p) se seguirán los siguientes pasos:

- **Primero:** Se calcula el **área de la embocadura de los vasos** en centímetros cuadrados, tal y como aparece en la Figura siguiente:





- **Segundo:** La lámina de agua recogida en los vasos se calculará mediante la expresión:

$$\text{Lámina de agua recogida en los vasos (milímetros)} = \frac{\text{Volumen medio recogido (cm}^3\text{)}}{\text{Área de la embocadura de los vasos (cm}^2\text{)}} \times 10$$

EJEMPLO

El diámetro de los vasos pluviométricos utilizados en una evaluación de riego por aspersión es 13.5 centímetros y la media del volumen de agua medido en todos ellos fue 163 centímetros cúbicos (cm³).

El área de la embocadura de los vasos es:

$$\text{Área (cm}^2\text{)} = 0.785 \times (13.5)^2 = 143 \text{ centímetros cuadrados (cm}^2\text{)}$$

y la lámina de agua recogida en ellos fue:

$$\text{Lámina de agua recogida en los vasos} = \frac{\text{Volumen medio recogido (cm}^3\text{)}}{\text{Área de los vasos (cm}^2\text{)}} \times 10 = \frac{163}{143} \times 10 = 11.4 \text{ mm}$$

Una vez calculadas la lámina aplicada por los aspersores (La) y la lámina recogida en los vasos (Lp), ambas en milímetros (mm), las **pérdidas por evaporación y arrastre del viento** se calcularán de la siguiente forma:

$$\text{Pérdidas por evaporación y arrastre (\%)} = \frac{\text{Lámina aplicada (mm)} - \text{Lámina recogida (mm)}}{\text{Lámina aplicada (mm)}} \times 100$$



EJEMPLO

Tras realizar una evaluación de riego se ha obtenido una lámina de agua aplicada por los aspersores $L_a = 12.9$ mm y una lámina de agua recogida por los vasos $L_p = 11.4$ mm. Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento durante la evaluación fueron por lo tanto:

$$\text{Pérdidas por evaporación y arrastre} = \frac{\text{Lámina aplicada} - \text{Lámina recogida}}{\text{Lámina aplicada}} \times 100 = \frac{12.9 - 11.4}{12.9} \times 100 = 11.6\%$$

4.5 Eficiencia de Aplicación Óptima del sistema de riego

Con el coeficiente de uniformidad calculado con una sencilla evaluación del sistema de riego, se puede obtener **información necesaria para la programación de los riegos**. Especialmente, se puede estimar la eficiencia de aplicación que el sistema de riego puede proporcionar sin que el cultivo sufra una caída de la producción y sin aplicar más agua de la necesaria.

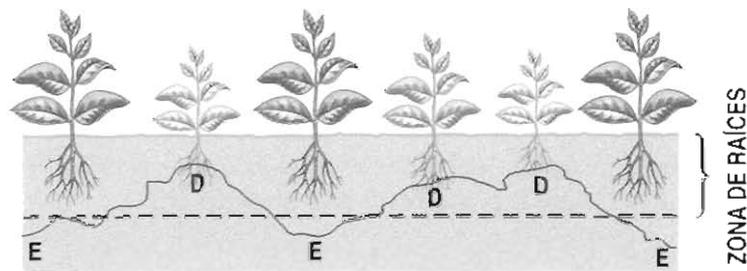
La eficiencia de aplicación máxima que se puede conseguir con el sistema de riego sin introducir modificaciones que afecten a su diseño, se denomina **eficiencia de aplicación óptima del sistema y será la que se utilizará para programar riegos**. Como se indica en Unidad Didáctica 6 del Módulo 1 “Fundamentos del Riego”, la eficiencia de aplicación se utiliza **para obtener las necesidades brutas de riego a partir de las necesidades netas**.

La eficiencia de aplicación es el tanto por ciento del agua de riego que es realmente utilizada por el cultivo con respecto al total de agua aplicada, para lo cual hay que considerar **las pérdidas de agua originadas por filtración profunda y las pérdidas por escorrentía**. En caso de riego por aspersión, la escorrentía suele ser nula cuando el sistema está bien diseñado y no se producen fugas, pero en cambio es preciso incluir las **pérdidas por evaporación y arrastre del viento**. Por tanto, la eficiencia de aplicación será:

$$\text{Eficiencia de aplicación} = 100 - \text{filtración profunda} - \text{evaporación y arrastre}$$

A la vista de la Figura 13, la relación que existe entre la filtración profunda, el déficit de agua del cultivo y la uniformidad de distribución (CU) es clara. Si se aplican las necesidades brutas de riego, cuanto menor sea el CU (menor la uniformidad del riego), mayor será la cantidad de agua perdida por filtración a capas profundas y mayor la parte de la parcela que no recibe agua suficiente.





Zona Humedecida

D : zona de déficit de agua.

E : zona de exceso de agua (filtración profunda).

Figura 13. Efecto del déficit y exceso de agua en el desarrollo uniforme del cultivo y en la producción.

Esta relación entre CU, filtración profunda y déficit se puede recoger en valores, de forma que conociendo el coeficiente de uniformidad del sistema de riego (obtenido en la evaluación), y aceptando que se produzca un determinado déficit, se podrá determinar la filtración profunda:

Déficit (%)	Filtración profunda (%)				
	CU (%)				
	75	80	85	90	95
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	-
10	6	2	1	-	-
15	3	1	-	-	-
20	1	-	-	-	-

Como se observa, admitiendo un déficit mayor, para un mismo valor del coeficiente de uniformidad el porcentaje de filtración profunda con respecto al agua aplicada se reducirá.

Una vez admitido un déficit y obtenida la filtración profunda, junto con las pérdidas por evaporación y arrastre del viento, se calculará la eficiencia de aplicación que habrá que utilizar en la programación del riego.

EJEMPLO

Con la evaluación de una instalación de riego por aspersión se ha obtenido un coeficiente de uniformidad de 82 % y unas pérdidas por evaporación y arrastre de 12 %. Admitiendo un déficit de agua del 5 %, ¿qué eficiencia de aplicación se usará para obtener las necesidades brutas de riego a partir de las necesidades netas?

Déficit (%)	Filtración profunda (%)				
	CU (%)				
	75	80	85	90	95
0	32	25	19	13	6
5	13	9	5	2	-
10	6	2	1	-	-
15	3	1	-	-	-
20	1	-	-	-	-

Según se desprende de la tabla, para un déficit del 5 % y CU del 82 % el valor de filtración profunda estará entre el 9 y el 5 % (datos resaltados en la tabla), pero más próximo a 9 que a 5, es decir, un 7 %.

Si las pérdidas por filtración profunda son del 7 % y las originadas por evaporación y arrastre del 12 %, la eficiencia de aplicación a usar en programación será:

$$\text{Eficiencia de aplicación} = 100 - \text{filtración profunda} - \text{evaporación y arrastre} = 100 - 7 - 12 = 81 \%$$

4.6 Evaluación del manejo del riego

Para completar la evaluación de una instalación de riego por aspersión, será necesario comprobar si el manejo que se está haciendo del riego es correcto una vez analizados los componentes de la instalación y la uniformidad del riego. Para ello será necesario **conocer la frecuencia y la duración de los riegos**.

La persona encargada de hacer la evaluación estimará las necesidades netas y brutas de riego en los días anteriores a la evaluación y **comprobará si la cantidad de agua aplicada coincide o no con las necesidades brutas**.



Resumen

La evaluación de una instalación de riego por aspersión tiene por objeto verificar que su funcionamiento es adecuado y que se aplica la cantidad de agua que el cultivo requiere, garantizando así un desarrollo adecuado y alta producción. Con ella también se valoran las características de diseño, manejo y mantenimiento de la instalación, y especialmente la uniformidad de aplicación del agua. Es imprescindible realizar una evaluación completa de toda la instalación en su recepción, y evaluaciones periódicas para verificar el correcto funcionamiento.

El coeficiente de uniformidad es el mejor indicador de la bondad del sistema de riego y a partir de él se podrá obtener la eficiencia de aplicación que se utilizará para la programación de riegos.

Cuando el coeficiente de uniformidad resulte bajo, según las indicaciones dadas, será necesario consultar con personal técnico que pueda analizar el sistema de riego y buscar medidas correctoras, lo más económicas posibles, que mejoren el riego y con ello faciliten la obtención de la producción óptima del cultivo y el ahorro de agua.

Autoevaluación

1. Uno de los objetivos de la evaluación de un riego por aspersión es comprobar el agua se aplica con una uniformidad adecuada:
Verdadero / Falso
2. Para hacer más pequeños los errores de medida durante la recogida de agua en los vasos pluviométricos, se debe recoger:
 - a) Durante toda la duración del riego.
 - b) Al menos durante 90 minutos.
 - c) Al menos durante un cuarto de hora.
 - d) 5 horas como mínimo.
3. Para medir el agua que cae sobre el suelo o sobre la superficie del cultivo se disponen vasos pluviométricos :
 - a) lo más cerca posible de los aspersores seleccionados
 - b) repartidos a lo largo de una de las líneas del cultivo
 - c) bajo el cultivo para que caiga menos agua
 - d) distribuidos en una malla de 3x3 metros
4. Para calcular la lámina de agua que aplican los aspersores es preciso medir el caudal que suministran. Para ello suele utilizarse:
 - a) un caudalímetro digital
 - b) un bidón de volumen conocido, un tubo de goma y un cronómetro
 - c) un manómetro y un regulador de presión
 - d) las tablas que suministra el fabricante
5. La uniformidad del riego tiene una gran importancia en el rendimiento de los cultivos y el ahorro de agua.
Verdadero / Falso
6. Para evaluar un sistema de riego por aspersión se seleccionará:
 - a) Una zona cualquiera.
 - b) Una zona de una de las esquinas.
 - c) Una zona representativa de la instalación
 - d) Una zona al principio de una unidad de riego.
7. Tras realizar una evaluación de una instalación de riego por aspersión semifija, un agricultor obtiene un coeficiente de uniformidad del 80 %. Según el resultado, la calidad de los riegos es:
 - a) La mínima exigible
 - b) Media
 - c) Alta
 - d) Inaceptable
8. Una presión excesiva, y por tanto unas gotas demasiado finas, hará aumentar la pérdida de agua por evaporación y arrastre del viento.
Verdadero / Falso
9. Tras realizar una evaluación de su instalación de riego por aspersión, un agricultor obtiene un coeficiente de uniformidad del 60 %. Ante esto, el agricultor debería:
 - a) Sentirse muy satisfecho con su instalación
 - b) Instalar reguladores de presión
 - c) Instalar un nuevo equipo de bombeo
 - d) Llamar a un técnico que analice su instalación de riego y proponga mejoras



5.1 Introducción

El agua es un recurso cada vez más escaso debido fundamentalmente al aumento de su demanda. En los últimos 30 años la superficie agrícola de regadío se ha duplicado en Andalucía, habiendo aumentado también la demanda de agua para la industria y uso urbano.

El incremento del número de regadíos puede considerarse favorable en tanto que la agricultura de riego es más productiva que la de secano, proporciona más empleo e incrementa la actividad económica de las comarcas donde se ubica. Pero provoca también un serio problema ya que el aumento de la demanda ha ocasionado un déficit de agua en torno al 20%, considerando conjuntamente años secos y húmedos; esto es, **la demanda supera los recursos disponibles.**

El aumento de la *eficiencia de aplicación* del agua de riego implicará una mayor disponibilidad de agua en cada *zona regable*, que disponiendo de una determinada cantidad al año o dotación la aprovechará mejor cuanto menores sean las pérdidas. Además, para el ahorro de agua es necesario que **ésta se distribuya uniformemente en la superficie de la parcela, y que en la medida de lo posible se aplique la necesaria para el cultivo en cada fase de desarrollo**, lo que también favorecerá la obtención de producciones satisfactorias.

De esta forma, la utilización racional del agua de riego **favorecerá su ahorro, el incremento de los beneficios del agricultor y la disminución de la contaminación de los recursos hídricos**, ríos, canales, lagos, *acuíferos*, etc.

Para que el agua se utilice adecuadamente es necesario que los sistemas de riego estén bien diseñados e instalados, pero de igual forma **es un requisito indispensable que durante su uso sean manejados correctamente.**

Para regar bien es necesario:

— **Aplicar métodos de programación de riegos.**



- Tomar las medidas necesarias para conseguir **elevada uniformidad de aplicación**.
- **Limitar las pérdidas de agua**, aplicándola con alta eficiencia.

En la Unidad Didáctica 6 del Módulo 1 “Fundamentos del Riego” se ha desarrollado la programación de riegos, esto es, **cuánta agua aplicar y cuándo aplicarla**. En esta Unidad Didáctica se reflejan unas normas sencillas y casi siempre poco costosas **para regar bien con un sistema de riego por aspersión**.

5.2 Mantenimiento y reposición de componentes del sistema

Antes de la campaña de riegos

- Revisar el *sistema de bombeo* y de filtrado si lo hubiese, de acuerdo a las indicaciones del fabricante.
- Revisar las tuberías y juntas, reparando o cambiando los elementos que pudieran dar lugar a fugas. Esto es especialmente importante en sistemas semifijos con *ramales de aspersión* compuestos por tramos de tuberías de aluminio, ya que se han medido **hasta un 20% de pérdidas de agua** en las juntas entre tuberías o entre tuberías y toma o boca de riego.
- Reparar las *tomas o bocas de riego* que lo requieran.
- Comprobar el estado de las boquillas y el giro de todos los aspersores.
- Verificar que en cada parcela de riego se emplean **aspersores de marca, modelo y boquilla iguales**. Si esto no fuera posible, al menos cada ramal de aspersión debe llevar instalados aspersores iguales.
- Reparar o sustituir boquillas y aspersores rotos.



Figura 1. Operación de cambio de una boquilla defectuosa del aspersor.

Esta revisión debe hacerse con el tiempo suficiente para poder adquirir e instalar los recambios que fuesen precisos antes del inicio de la campaña de riegos.

Durante la campaña de riegos

— **Realizar en primer lugar una sencilla evaluación** utilizando la presión de trabajo recomendada por el fabricante.

En caso de observarse valores de *coeficiente de uniformidad* bajo (menor de 70 % en un sistema semifijo, 75 % en fijo y 80 % en los de desplazamiento continuo), será necesario que un técnico realice una evaluación más completa y proponga medidas para mejorar la *uniformidad de aplicación*.

— Observar detalladamente el funcionamiento del sistema durante el primer riego. Se detectarán boquillas atascadas, sistemas de giro que no funcionen correctamente, la estabilidad y verticalidad de los aspersores, etc.

— Mantener en todos los ramales de aspersión la **presión de trabajo adecuada** (ver apartado 5.3 de esta Unidad Didáctica).

— Los aspersores que presenten algún tipo de problema serán sustituidos. Mientras tanto se situarán en localizaciones de fácil acceso, como caminos o lindes, de tal forma que dichos problemas puedan ser corregidos durante el riego hasta su cambio.

— En sistemas móviles y semifijos se utilizarán tuberías con estabilizadores, que impidan que los tubos portaaspersores y los aspersores se inclinen.



Figura 2. Usando estabilizadores en los tubos de aspersión, los portaaspersores permanecen verticales durante el riego.



Figura 3. Ramal de aspersión muy mal alineado y sin estabilizadores.
En consecuencia, los aspersores se inclinan durante el riego.

En **sistemas móviles y semifijos**, se puede emplear una práctica sencilla para aumentar la uniformidad. El ramal de aspersión suele aplicar más cantidad de agua en las líneas de cultivo próximas a los aspersores que en las que quedan más lejanas. Por tanto, **si se alternan las posiciones de los ramales cada dos riegos**, es decir, si en el segundo riego los ramales se sitúan en las líneas de cultivo que menos agua recibieron durante el riego anterior, como se indica en la Figura 4, se obtendrá una uniformidad mayor al considerar dos riegos consecutivos.

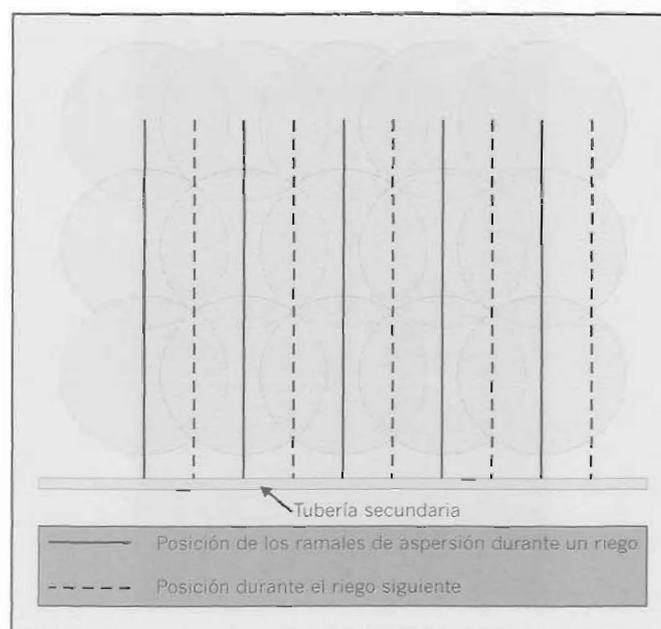


Figura 4. Representación esquemática de la alternancia de ramales de aspersión cada dos riegos.

La mejora que puede esperarse usando esta práctica se indica en la siguiente tabla:

Mejora de la uniformidad que puede esperarse, si se consideran dos riegos consecutivos, alternando las posiciones de los ramales de aspersión en cada riego						
CU sin alternar posiciones de los ramales	60	65	70	75	80	85
CU alternando posiciones de los ramales	77	81	84	87	89	92

Esta práctica no debe ser excusa para que la uniformidad de cada uno de los riegos sea excesivamente baja. Se corre entonces el riesgo de que entre riego y riego falte agua en la zona que menos recibe, y posiblemente se vea afectada la producción del cultivo, especialmente cuando los intervalos entre riegos son largos.

EJEMPLOS

- 1.- Con una instalación móvil se ponen siempre los ramales en las mismas líneas de cultivo durante todos los riegos. En una evaluación se obtiene un Coeficiente de Uniformidad del 75%. Si se alterna la posición de los ramales portaaspersores en riegos consecutivos, la uniformidad que puede esperarse será del 87%, considerando el agua aplicada en dos riegos.
- 2.- Si con la evaluación de un riego se obtiene un Coeficiente de Uniformidad del 60%, se deberá consultar y aplicar medidas para mejorar la uniformidad. Por ejemplo: ¿es seguro que todos los aspersores son iguales?, ¿se mantienen bien verticales y tienen el mismo diámetro de boquilla?. La mejora no debe limitarse a alternar la situación de los ramales en riegos diferentes.

5.3 Manejo durante el riego

Es de esperar que en el proceso de diseño se hayan elegido unos aspersores y un *marco de riego* adecuados, que la instalación se haya realizado correctamente y que el mantenimiento de la instalación haya sido correcto, siguiendo al menos las normas indicadas anteriormente.

Supuesto esto, además de vigilar el correcto funcionamiento del conjunto de los aspersores, durante el riego será necesario vigilar la **presión de trabajo, la existencia o no de viento y el tiempo de riego**.



PRESIÓN DE TRABAJO

La **presión de trabajo en cada riego debe ser conocida** y próxima a la determinada en el proyecto, o en su defecto próxima a la recomendada por el fabricante. Por esto es necesario que el agricultor la conozca consultando catálogos o preguntando directamente al instalador, y la controle al inicio del riego.

Cuando la **presión es demasiado baja las gotas son grandes** y se produce una mala distribución del agua. Cuando es demasiado alta la distribución también suele ser deficiente. Además, **presiones demasiado altas** suponen elevados consumos de energía y una pulverización excesiva del chorro de agua, con lo que los efectos del viento se hacen más importantes.

Manipulando la llave de las tomas o bocas de riego podrá controlarse la presión de trabajo. Es importante que al menos **al inicio de la instalación existan manómetros para poder medir la presión** y modificarla convenientemente si fuera preciso.

Si no se cuenta con manómetros al principio de la instalación, **la presión se puede medir fácilmente en la boquilla de un aspersor** con un manómetro al que se le habrá acoplado un “tubo de pitot”, o un manómetro de aguja, cortándole la aguja.



Figura 5. Medida de la presión en un aspersor utilizando un manómetro con “tubo de pitot”.



Figura 6. Manómetro con aguja de presión instalada.

La presión **se medirá en un aspersor situado en la mitad de un ramal de aspersión**, que a su vez ocupe una posición central en una *unidad de riego*. En este caso se regulará la presión hasta que la medida en esta situación sea igual a la de trabajo.

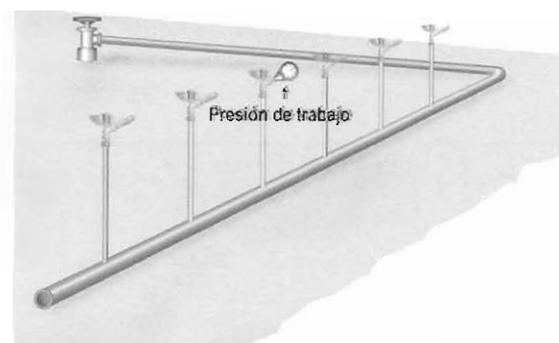


Figura 7. Comprobación de la presión de trabajo en un aspersor del ramal.

También puede medirse cerca de la toma de riego, bien en la boquilla de un aspersor muy próximo a él o bien instalando el manómetro en un soporte de *tubo portaaspersor*, que a su vez se instalará cerca de la toma de riego. La presión medida en este punto debe ser un 15 % mayor que la presión de trabajo, o lo que es lo mismo, que la presión en este punto ha de ser la de trabajo multiplicada por 1.15.

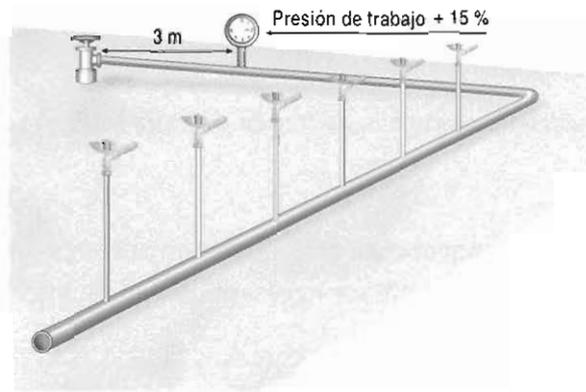


Figura 8. Comprobación de la presión de trabajo en las proximidades de la toma o boca de riego.

EJEMPLO

La presión de trabajo recomendada para los aspersores de una instalación de riego es 3 kilos por centímetro cuadrado (término conocido normalmente como “kilos”). Para que la instalación funcione correctamente, la presión junto a la toma de riego habrá de ser aproximadamente:

$$\text{Presión en la toma de riego} = \text{Presión de trabajo} \times 1.15 = 3 \times 1.15 = 3.5 \text{ kilos}$$

Es preciso tener en cuenta que si tras la toma de riego existen filtros o elementos de regulación o control (válvulas, contadores, etc.), la presión se medirá una vez que el agua ha pasado por los citados elementos.

Cuando rieguen varias subunidades de riego a la vez, cada una con varios ramales de aspersión, será conveniente comprobar, al menos durante el primer riego, que **en el inicio de cada subunidad las presiones son similares**, admitiendo diferencias máximas entre ellas del 20%.

VIENTO

El viento afecta empeorando la aplicación del agua por los aspersores y disminuye con ello la uniformidad de aplicación. Igualmente, cuanto mayor sea el viento mayores serán las pérdidas por evaporación y arrastre de las gotas de agua. Por todo ello, **el viento es un factor que afecta negativamente al riego por aspersión**.





Figura 9. El viento afecta considerablemente a la aplicación del agua sobre el suelo en riego por aspersión.

Cuando la velocidad del viento es mayor que unos 2 metros por segundo, la distribución del agua comenzará a verse afectada, por lo que se hace necesario tomar algunas medidas:

- Si es posible, **regar durante la noche**, pues entonces la velocidad del viento suele ser menor. También la energía es más barata.
- **La presión de trabajo deberá ser algo inferior** a la recomendada por el fabricante.
- Con vientos moderados a fuertes (más de unos 4 metros por segundo) **reducir el marco de riego cuando sea posible. Si no existe esa posibilidad, no regar.**
- **Bajar la altura de los aspersores**, con tubos portaaspersores más cortos o, en el caso de los pivots y rangers, modificarlos si es posible, para situar los aspersores por debajo del ala de riego.

Los aspersores de bajo caudal originan en ocasiones gotas excesivamente finas, incluso con la presión recomendada por el fabricante, y así los efectos del viento son considerables. Cuando a simple vista se distinga un tamaño de gota excesivamente fina (se observa una especie de nube de vapor), las precauciones anteriores deberán extremarse, no siendo conveniente regar incluso con menor viento. En cualquier caso, lo mejor siempre será no elegir durante el diseño de la instalación aspersores que originen gotas demasiado finas.

TIEMPO DE RIEGO

Durante un riego por aspersión lo usual es que se rieguen las *unidades de riego* en que está dividida la parcela de forma consecutiva. **Uno de los motivos más frecuentes de falta de uniformidad** del riego es que **distintas unidades de riego se riegan durante tiempos diferentes**, aún cuando el cultivo sea el mismo. Esto sucede más frecuentemente en sistemas móviles y semifijos en los que las diferentes posturas de riego se mantienen tiempos diferentes.

Es esencial que todas las unidades se rieguen durante el mismo tiempo. Cuando el sistema de cambio de riego entre unidades es manual, será necesario planificar los tiempos de forma **que dichos cambios no interfieran con costumbres cotidianas** como durante las horas de las comidas o durante la noche. En esos casos lo más probable es que no se realicen en el momento adecuado y se produzca el problema mencionado.



Es preciso tener siempre presente que **la mala uniformidad es una de las causas por la que no se obtienen las producciones esperadas**, pues quedan zonas del campo insuficientemente regadas. Dado que la operación de apertura o cierre manual del paso del agua a distintas unidades de riego puede interferir con otras actividades, el agricultor debe **meditar la conveniencia de instalar un automatismo** que regule los cambios. Así, se asegurará que los tiempos de riego sean iguales en todas las partes del campo.

En el caso **de sistemas móviles y semifijos** puede utilizarse un simple programador junto con una válvula para detener el riego y evitar, por ejemplo, que la postura que se ponga en riego al final de la tarde esté regando toda la noche. Esta función también puede ejecutarla una válvula volumétrica, que no necesita energía eléctrica y puede resultar más económica.



Figura 10. Programador de riego para una automatización sencilla del riego.

En el caso de sistemas fijos, sean permanentes o no, el coste de la automatización del riego dependerá del número de unidades (que indicará el número de válvulas necesarias), la extensión del campo (que marcará la longitud de cable necesario para conectar programador y válvulas) y los costes de interconexión del cableado (telemáticos, sistemas unix, etc.). El agricultor debe valorar el coste de una automatización mínima que le permita la apertura o cierre del agua en las unidades de riego. Deberá valorar también el importante ahorro de tiempo, la comodidad y la seguridad en tiempos de riego que dicha automatización le proporcionará.



Figura 11. Sistema fijo automatizado. El automatismo se encarga de abrir o cerrar el paso de agua a diferentes unidades de riego según se haya programado.

Resumen

El ahorro de agua de riego y su aprovechamiento óptimo son dos objetivos a conseguir en cualquier sistema por aspersión. Realizar los riegos eficazmente supone realizar una adecuada programación, aplicar el agua uniformemente sobre toda la superficie y evitar al máximo las pérdidas de agua.

Es preciso seguir ciertas recomendaciones referentes al mantenimiento de los componentes del sistema de riego, así como a la reposición de aquellos que puedan estar deteriorados. Ambas operaciones deben ser realizadas con anterioridad a la campaña de riegos y durante el pleno funcionamiento del sistema.

Optimizar los resultados del riego supone emplear diversas prácticas de mejora, normalmente muy sencillas y en general poco costosas. En especial se deberá controlar la presión de trabajo de los aspersores, de forma que el agua se aplique uniformemente. En situaciones de viento, que es uno de los factores que más influye reduciendo la uniformidad de aplicación del agua, también pueden seguirse unas sencillas prácticas de mejora. De la misma forma, se debe tratar de mejorar el manejo de manera que los tiempos de riego de cada una de las unidades sean lo más parecidos posible. El uso de automatismos permite controlar el tiempo de riego, facilita el trabajo al agricultor y le ofrece seguridad y comodidad.



Autoevaluación

1. Antes de la campaña de riegos no es necesario revisar el sistema de riego. Basta con ponerlo en funcionamiento la instalación y comenzar a regar.

Verdadero / Falso

2. A lo largo de un ramal de aspersión, es muy importante que las boquillas de los aspersores:

- a) Sean más pequeñas cuanto más lejos estén de la tubería secundaria
- b) Estén a diferente presión según la distancia
- c) Sean todas iguales
- d) Queden soldadas al aspersor para que no se pierdan durante el cambio de postura

3. En sistema de aspersión móviles, la uniformidad de la distribución del agua, considerando dos riegos, puede mejorarse:

- a) Regando con vientos fuertes
- b) Situando los aspersores inclinados hacia un lado en un riego y hacia el contrario en el siguiente
- c) Alternando las posiciones de los ramales de aspersión
- d) Utilizando tuberías sin estabilizadores

4. Cuando se trata de controlar la presión de trabajo en los aspersores de un ramal se puede medir la presión cerca de la toma o boca de riego. La presión medida en ese punto deberá ser:

- a) La de trabajo más 1.15

- b) La de trabajo multiplicada por 1.15
- c) Igual a la de trabajo
- d) Como máximo la de trabajo

5. En situaciones en que la velocidad del viento sea moderada o fuerte, una posible solución que mejorará el riego será:

- a) Regar la mitad del tiempo de riego programado
- b) Colocar los ramales en la dirección del viento dominante
- c) Inclinan los aspersores enfrentándolos al viento
- d) Regar durante la noche

6. En riego por aspersión, el tiempo de riego:

- a) Ha de ser el mismo en todas las unidades de riego si en ellas el cultivo es el mismo.
- b) Puede ser hasta el doble en diferentes unidades de riego sin afectar a la uniformidad.
- c) No tiene influencia en la cantidad de agua que se aplica.
- d) Puede ser hasta el triple en diferentes unidades de riego sin afectar a la uniformidad.

7. Nunca han sido observadas pérdidas de agua importantes en las juntas de las tuberías de los sistemas de aspersión móviles:

Verdadero / Falso



La implantación de una nueva zona regable no sólo tiene implicaciones técnicas o agronómicas, es decir, relacionadas con las obras de infraestructura y el desarrollo de los cultivos, sino que también tiene importantes repercusiones de otra índole como **social, económica, medioambiental, etc.** Por lo tanto, es un proceso complejo que requiere gran cantidad de información y la intervención tanto de las administraciones, como de organismos de cuencas (confederaciones hidrográficas), usuarios y técnicos, entre otros.

Todas las zonas regables de reciente implantación o en proceso de realización en Andalucía son de riego a presión, es decir, por aspersión o riego localizado. Las redes colectivas de riego a presión **permiten el abastecimiento de agua al regante en el momento en que éste lo desee**, siendo por tanto posible **el riego a la demanda**.

Con el uso de las redes colectivas a presión preparadas para el riego a la demanda, el agricultor recibe el agua directamente en su parcela y la maneja según las necesidades de sus cultivos y la programación de riegos que haya establecido. El número de parcelas de que conste zona regable, el tamaño de aquellas, su forma, distribución, etc. son algunos de los factores que influyen en la complejidad de la red de transporte y distribución del agua.

La gestión de las zonas de riego a la demanda se lleva a cabo en las denominadas **comunidades de regantes**, quienes determinarán el momento y la cantidad de agua a suministrar según los requerimientos de los regantes. Asimismo, en el proyecto de la zona regable se establecerán diversos **puntos de medida y control del agua a lo largo de toda la red de distribución**, de manera que se pueda establecer un estricto control del uso del agua de riego.



Figura 2. Puesto de control de una comunidad de regantes.

6.2 Descripción de las redes colectivas

Una **red colectiva de riego** es un sistema de distribución de agua del que se surten un número determinado de regantes. De la misma manera, una **red colectiva a presión** es aquella en la que el agricultor recibe el agua a pie de parcela con la presión y caudal suficiente para hacer funcionar su sistema adecuadamente. Los métodos de riego que requieren agua a presión son aspersión, y localizado.



La alimentación de la red colectiva puede efectuarse de dos formas:

- a) **Mediante una impulsión**, es decir, con un *sistema de bombeo* que proporcione la presión necesaria para permitir el riego de forma correcta en el lugar más desfavorable dentro de toda la zona regable. Para que se pueda atender al caudal que se demanda en cada momento (que es diferente ya que los agricultores tienen “cierta libertad” para decidir el momento de regar) **suelen instalarse bombas en paralelo** que entrarán en funcionamiento sucesivamente según las necesidades.

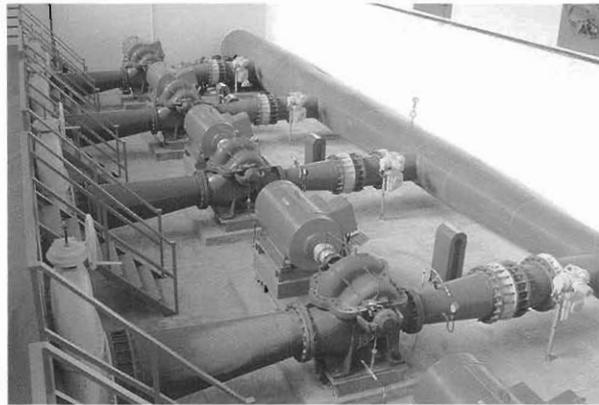


Figura 3. Impulsión del agua mediante un gran sistema de bombeo en una zona regable. Puede observarse la disposición de las bombas en paralelo.

- b) **Regulando desde un depósito**, que deberá estar a una cota suficiente y tener una capacidad tal que permita atender las máximas necesidades. Tiene el inconveniente del elevado coste de los depósitos de gran tamaño, además de que se requiere un emplazamiento suficientemente alto.

Para diseñar la forma y dimensiones de una red colectiva es preciso tener información detallada sobre varios aspectos, entre los que destacan:

- Disponibilidad de agua para surtir a todos los regantes y situación de las captaciones
- Topografía de la zona regable
- Tipos de suelo
- Estructuración agrícola y parcelaria
 - Parcelación
 - Tipos de cultivos
 - Sistemas de riego

La gestión, control y regulación de una zona regable se facilita aglutinando un determinado número de parcelas de riego que se surte desde un mismo punto de la tubería de distribución. El conjunto de estas parcelas se denomina **agrupación**.

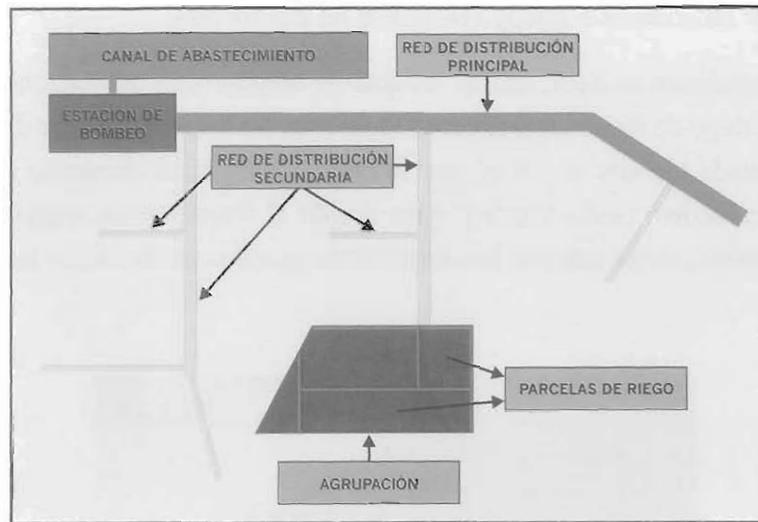


Figura 4. Representación esquemática de la red de distribución de una zona regable y agrupación de parcelas.

A la entrada de las conducciones a cada una de las agrupaciones se instala un **puesto o caseta de control de agrupación** en el que se disponen los elementos necesarios para que la comunidad efectúe la medida y control del agua. De esta forma se puede abrir o cerrar el paso del agua, regular la presión, el caudal y finalmente medir el volumen de agua que se suministra al conjunto de la agrupación. Dentro de cada una de las agrupaciones, el lugar desde donde cada uno de los regantes o grupo de regantes toma el agua se denomina **acometida**.

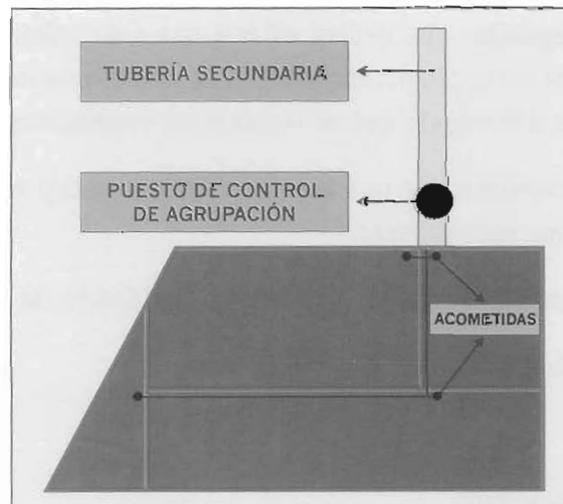


Figura 5. Esquema de una agrupación de parcelas, con la ubicación del puesto de control de agrupación y acometidas.

En algunos casos la comunidad de regantes realiza la instalación de la red de distribución hasta la entrada a la agrupación, lugar a partir del cual es el propio regante el que ha de realizar la conexión y llevar el agua hasta su parcela. En otros, la comunidad de regantes realiza la instalación hasta las acometidas, en cuyo caso también ejercerá el control en dichos puntos.



Dependiendo de la superficie de la zona regable, del número, forma y tamaño de las parcelas de riego y de la topografía del terreno, las agrupaciones serán diferentes y también la red de distribución dentro de ellas. Se pueden considerar las siguientes situaciones:

- Zonas regables con parcelas de forma regular y superficie media a grande. En estos casos **lo habitual es que exista una acometida en cada parcela**. El agricultor será el único responsable del uso del agua a partir de ese punto, siempre que el caudal disponible permita la simultaneidad del riego.
- Si la estructura de la zona regable es muy complicada, bien porque ésta sea de gran superficie y porque exista un gran número de parcelas y/o estas sean muy pequeñas, lo normal es que **una misma acometida sirva para regar varias parcelas**. Esto es debido a que de lo contrario la red de conducciones puede complicarse en exceso y la longitud de las tuberías ser demasiado grande.

Lo habitual es que cada regante realice la instalación necesaria para llevar el agua desde la acometida hasta la parcela. En un riego a la demanda, cuando desde una misma acometida se riegan varias parcelas, la red se diseña con mayor grado de libertad, lo que permite al agricultor regar cuando lo desee.

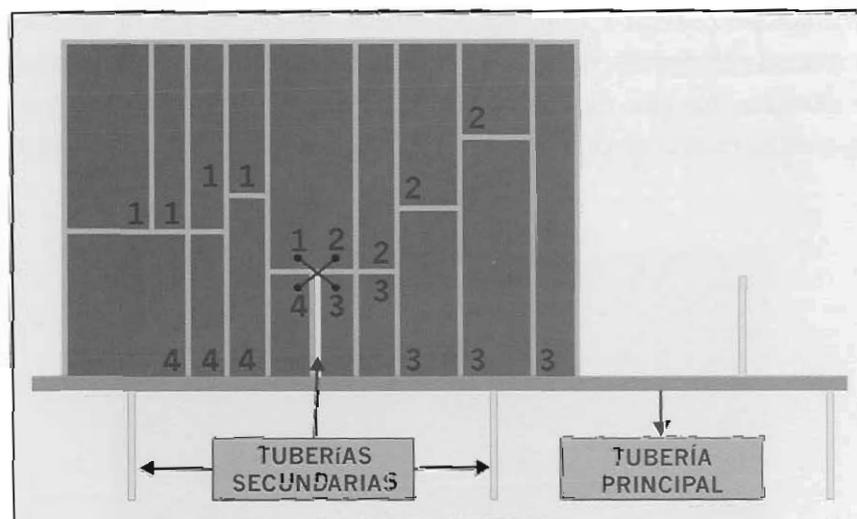


Figura 6. Ejemplo de una agrupación con parcelas de riego muy pequeñas que se surten por grupos desde la acometida más cercana.

El número señalado en cada parcela indica la acometida desde la que toma agua.

- Zonas regables con variedad de tipos de parcelas, de gran tamaño, pequeñas y distribuidas con poca ordenación. Es el caso más frecuente.

De esta manera, en la agrupación existirán tanto parcelas dotadas de una acometida propia, como grupos de parcelas que tomarán el agua desde una acometida colectiva. Esta situación se representa esquemáticamente en la Figura 7, donde se observan cuatro acometidas de las cuales dos de ellas son para una sola parcela y las otras dos son colectivas.

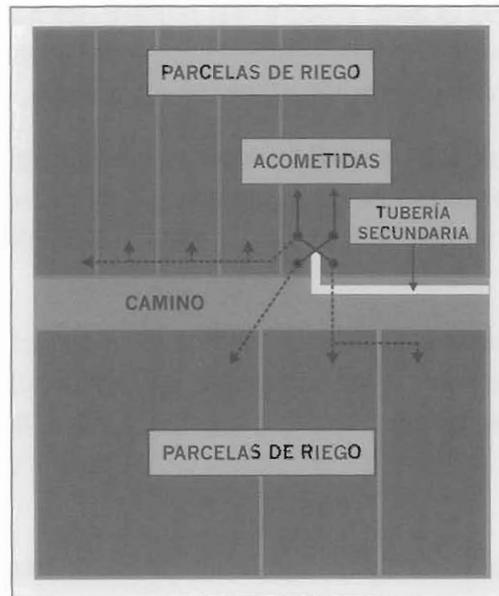


Figura 7. Ejemplo de agrupación dotada de acometidas colectivas e individuales.

En la Figura 8 se muestra la situación real de la representación de la Figura 7, para las parcelas situadas por encima del camino. La tubería secundaria (que entra por la derecha y en la que se han dispuesto diversos elementos de control) se separa dando lugar a dos acometidas: la que se dirige hacia la derecha, que sólo riega una parcela de unas 2 hectáreas; y la que se deriva hacia la izquierda, que riega cuatro parcelas de 0.5 hectáreas cada una aproximadamente.



Figura 8

Al igual que ocurre en los puestos de control de agrupación, si las *acometidas* también son instaladas por parte de la comunidad de regantes, estarán dotadas de determinados elementos de control y medida. A partir de ese lugar es muy recomendable que cada agricultor disponga, según sea el método de riego y tipo de sistema, de los elementos de medida y control que estime oportuno para un correcto funcionamiento de su instalación.



La presión en cada una de las acometidas será la necesaria para que los emisores funcionen correctamente, teniendo en cuenta las *pérdidas de carga* que se producirán en toda la instalación de riego, tuberías, piezas especiales, etc., así como la elevación que sea preciso vencer, que estará determinada por la topografía de la zona. En el caso de redes colectivas de riego a la demanda, lo usual es dotar a las acometidas de presión entre 3.5 y 4 Kg/cm²

6.3 Elementos de medida y control en las redes colectivas a presión

La *comunidad de regantes* gestiona el uso del agua desde la captación o lugar de suministro hasta los puestos de control de las agrupaciones, y en determinados casos, hasta las acometidas. Regula el caudal por la red principal en función de la demanda soltando agua desde el depósito de regulación o impulsándola desde la estación de bombeo.

Cuando la medida y el control se ejercen en las **agrupaciones**, se disponen en el puesto de control los siguientes elementos:

- Válvula de apertura o cierre
- Contador
- Regulador de presión
- Regulador de caudal
- Controladores de riego

La válvula de apertura y cierre (bien sea de mariposa o compuerta) **permite aislar el resto de la red de distribución en los casos en que sea necesario**, por ejemplo cuando es preciso sustituir algún elemento en caso de avería, cuando se produce alguna rotura en las tuberías u ocurre algún otro problema técnico.

Con el contador, la comunidad de regantes **mide la cantidad de agua que se ha consumido en esa agrupación**. Su uso es esencial ya que se podrán comparar los volúmenes de agua medidos en las acometidas o por cada agricultor. De esta manera se tiene un control exhaustivo del agua concedida y la realmente consumida.

El regulador de presión se instala para limitar la presión del agua a un valor suficiente para el funcionamiento adecuado de las instalaciones de riego. El regulador de caudal es necesario ya que a la agrupación no debe entrar mayor caudal que aquel para el que se han calculado las tuberías.

En la actualidad es muy frecuente que la válvula de apertura o cierre, el regulador de presión y el regulador de caudal **se sustituyan por una válvula hidráulica limitadora de presión y de caudal**. Se consiguen así los tres propósitos con un solo elemento, que además es más barato que el conjunto de los tres anteriores por separado.

Una vez que el agua sale de cada una de las acometidas, lo más frecuente es que el regante



solamente instale el contador, ya que la comunidad de regantes habrá regulado la presión y el caudal en el puesto de control de agrupación o en la acometida. De esta forma cada regante sabe la cantidad de agua que utiliza, y evita que puedan surgir conflictos con otros regantes de su misma agrupación o en la acometida, si se le imputa un uso excesivo de agua.



Figura 9. Contador instalado en una acometida.

Los contadores también son especialmente necesarios si la acometida es colectiva, ya que se podrá comprobar que la suma de los volúmenes utilizados por cada regante corresponde con la cantidad que se ha medido en el contador de la acometida.

Existe la posibilidad de colocar controladores de riego, compuestos por válvulas y un programador, que determinarán el momento de riego y el volumen de agua a disposición de cada usuario. Con ellos se ajusta la simultaneidad de riegos y se controlan los consumos. Son especialmente utilizados en riego localizado, cuando los caudales disponibles son limitados.



Resumen

Los sistemas de riego pueden formar parte de una zona regable o superficie agrícola de regadío cuya gestión del agua es efectuada por parte de la comunidad de regantes. Las redes colectivas de riego a presión suministran agua a sistemas de aspersión y localizado, y permiten el riego a la demanda.

La zona regable se alimenta de agua captándola desde un canal o embalse e impulsándola mediante un sistema de bombeo o regulándola desde un depósito de almacenamiento. A partir del lugar de captación, el transporte se efectúa por una red de distribución constituida por un sistema de tuberías a presión. Para el trazado de esta red es preciso contar con información de muy diversa índole, desde topográfica, parcelaria, cultivos, sistemas de riego, etc.

Dentro de la zona regable, las parcelas de riego se unen en agrupaciones, en cuyo puesto de control la comunidad instala diversos elementos de medida y control. A partir de la entrada de la red en la agrupación, se distribuye otra red de tuberías que acceden bien a una sola parcela o a un grupo de parcelas en los lugares denominados acometidas.

Los puestos de control de agrupación suelen contar con una válvula de apertura o cierre para aislar la red, un contador, un regulador de presión y otro de caudal. Las acometidas, en cambio, suelen llevar instalado sólo un contador, aunque el número y función de los elementos depende de que la comunidad de regantes controle el uso del agua hasta la entrada en la agrupación o hasta la acometida.



Autoevaluación

1. La superficie en la que se agrupan un número determinado de parcelas de riego cuyo uso y gestión del agua se lleva a cabo por parte de una comunidad de regantes se denomina:
 - a) Parcela de riego
 - b) Zona regable
 - c) Superficie regada
 - d) Acometida de riego
2. Las redes colectivas de riego a presión están destinadas a suministrar agua de riego a sistemas de riego:
 - a) Por superficie y localizado
 - b) Exclusivamente por aspersión
 - c) Por aspersión y localizado
 - d) Por aspersión, localizado y superficie
3. El lugar donde uno o varios regantes toman el agua dentro de su agrupación se denomina:
 - a) Puesto de control de agrupación
 - b) Acometida
 - c) Sistema de bombeo
 - d) Depósito de regulación
4. En general, en una zona regable lo más habitual es que las acometidas:
 - a) Sirvan agua siempre a varias parcelas
 - b) Sean siempre individuales
 - c) Se instalen fuera de la agrupación
 - d) Sean tanto individuales como colectivas
5. En una agrupación, la red de distribución está diseñada para que pueda circular una cantidad de agua determinada y no mayor. Para este propósito, la comunidad de regantes suele instalar en el puesto de control:
 - a) Un regulador de caudal
 - b) Un regulador de presión
 - c) Un contador
 - d) Una válvula de apertura o cierre
6. En una agrupación, una vez que la comunidad mide y controla el uso del agua en el puesto de control, lo más recomendable es que el agricultor instale los elementos necesarios para medir y controlar el riego según el sistema del que disponga.

Verdadero / Falso





UNIDAD DIDÁCTICA 1

1. c
2. d
3. d
4. b
5. a
6. c
7. b
8. a
9. c

UNIDAD DIDÁCTICA 2

1. c
2. a
3. d
4. a
5. c
6. d
7. a
8. d
9. c

UNIDAD DIDÁCTICA 3

1. b
2. a
3. Verdadero
4. Falso
5. d
6. d
7. b
8. b
9. d

UNIDAD DIDÁCTICA 4

1. Verdadero
2. b
3. d
4. b
5. Verdadero
6. c
7. c
8. Verdadero
9. d

UNIDAD DIDÁCTICA 5

1. Falso
2. c
3. c
4. b
5. d
6. a
7. Falso

UNIDAD DIDÁCTICA 6

1. b
2. c
3. b
4. d
5. a
6. Verdadero



Acometida: Lugar desde donde cada regante o grupo de regantes toma el agua de riego.

Acuífero: Capa del subsuelo que tiene capacidad suficiente para almacenar agua en su interior, y permitir su movimiento hacia otras zonas o cederla cuando se efectúa un sondeo.

Alcance: Es la distancia a la cual el aspersor es capaz de desplazar el agua cuando sale a través de su boquilla. Es muy variable dependiendo del tipo de aspersor y de condiciones técnicas de trabajo.

Altura geométrica de aspiración: Es la altura expresada en metros desde el nivel del agua aspirada hasta el centro o eje de la bomba.

Altura manométrica total: Es la altura correspondiente a la suma de las alturas de aspiración, impulsión y pérdidas de carga.

Aspersor: Cualquiera de los emisores de riego utilizado en un sistema de riego por aspersión. El aspersor más utilizado en agricultura es de impacto, con giro lento y con un caudal comprendido entre 1000 - 2000 litros/hora.

Bomba buzo: Aquel tipo de bomba que trabaja sumergida en el agua. Se utiliza cuando es preciso elevar el agua desde una gran profundidad.

Bomba hidráulica: Aquel elemento de la instalación accionado por un motor eléctrico o de combustión interna que suministra el caudal de agua necesario, a la presión adecuada.

Cambio de postura: Proceso mediante el cual se realiza el traslado del ramal de aspersión de un lugar a otro dentro de la misma parcela de riego.

Caudal: Cantidad de agua que pasa por una conducción en un tiempo determinado. Generalmente se suele expresar en litros/segundo, litros/hora y m³/hora.

Cobertura total: Tipo de sistema de riego por aspersión en el que los aspersores mojan toda la superficie que compone una unidad de riego.

Coefficiente de cultivo: Coeficiente que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que éstas se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. Se utiliza en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

Comunidad de regantes: Organismo independiente que aglutina a los regantes de una zona regable y gestiona los riegos.

Coefficiente de uniformidad: Índice que permite estimar la forma en que el agua se aplica al suelo. Cuanto más parecida sea la cantidad de agua que se ha infiltrado en todos los puntos de la parcela, mayor será la uniformidad en la distribución del agua infiltrada.

Curva de nivel: Línea imaginaria sobre la superficie del terreno que no tiene pendiente.

Eficiencia de aplicación: Relación entre la cantidad de agua que queda en la zona ocupada por las raíces y la cantidad de agua que se aplica con el riego.

Elementos singulares: Piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar, como codos, manguitos, tes, juntas, etc.

Emisores: Elementos destinados a aplicar y distribuir el agua a través del aire sobre la superficie del terreno.

Erosión: Arranque, transporte y depósito de partículas del suelo, provocada por factores externos como el agua y el viento.

Escorrentía: Cantidad de agua aplicada con un determinado método de riego que no se infiltra en el suelo, escurriendo sobre su superficie y por lo tanto perdiéndose.

Evaporación: Proceso por el cual el agua que existe en las capas más superficiales del suelo, y principalmente la que está en contacto directo con el aire exterior, pasa a la atmósfera en forma de vapor.

Evapotranspiración (ET): Término con el que se cuantifican, de forma conjunta, los procesos de evaporación directa de agua desde la superficie del suelo y la transpiración del vapor de agua desde la superficie de las hojas.

Evapotranspiración de referencia (ET_r): Es la evapotranspiración que produce una superficie extensa de hierba que cubre totalmente el suelo, con una altura de unos 10-15 centímetros, sin falta de agua y en pleno crecimiento. Con ella se evalúan las condiciones climáticas de la zona a la hora de calcular la evapotranspiración de un cultivo.



Filtración profunda o percolación: Cantidad de agua que, después de haberse infiltrado en el suelo, no puede ser retenida por éste y pasa hasta zonas situadas bajo la zona de raíces. Es, por tanto, agua perdida.

Germinación: Nacimiento de las plantas a partir de las semillas.

Juntas: Conjuntos de piezas utilizados para la unión de tubos entre sí o de éstos con las demás piezas de la conducción. Deben tener, como mínimo, las mismas características de resistencia a las presiones interiores que los tubos que unen.

Lámina aplicada: Cantidad de agua correspondiente a las necesidades brutas de riego, expresada en altura de la lámina de agua por metro cuadrado de superficie.

Lavado de sales: Operación con la cual se aporta con el riego una cantidad de agua extra para disolver las sales en exceso. Se genera con ello filtración profunda que permite que las sales pasen a capas más profundas del suelo, evitando que afecten negativamente al cultivo.

Lixiviación o lavado de sales: Proceso por el cual las sales del suelo se mueven con el agua de riego hacia capas profundas del suelo, quedando fuera del alcance de las raíces.

Lluvia media: Intensidad de lluvia que se aplica con una instalación de riego por aspersión, suponiendo que el agua se aplica de forma uniformemente. Se expresa normalmente en mm/hora.

Manómetro: Medidor de presión. Es esencial colocarlos en distintos puntos de la instalación de riego.

Marco de riego: También conocido como marco de los aspersores. Disposición que adoptan los aspersores y los ramales de riego uno respecto de los otros. Los tipos de marcos de riego empleados son en cuadrado, rectángulo y en triángulo, expresándose comúnmente de la forma 12x12, 12x18, etc, indicando el primer número la distancia entre aspersores y el segundo la distancia entre ramales.

Motor eléctrico: Dispositivo que transforma la energía proporcionada por la corriente eléctrica en un movimiento giratorio para accionar las bombas.

Motor de combustión interna: Dispositivo que transforma la energía que proporciona un motor de explosión en movimiento giratorio para accionar las bombas.

Necesidades brutas de riego (Nb): Cantidad de agua que realmente ha de aplicarse en un riego como consecuencia de tener en cuenta la eficiencia de aplicación del riego y, en su caso, las necesidades de lavado.

Necesidades netas de riego (Nn): Cantidad de agua que necesita el cultivo como consecuencia de la diferencia entre el agua que éste evapotranspira y la cantidad de agua aportada por la lluvia.

Pérdidas de carga: Pérdidas de presión en el agua que circula en una conducción a presión, debido a rozamientos con las paredes de las tuberías, paso por conexiones, piezas singulares, etc. También se producen pérdidas de carga en conducciones ascendentes.

Piezas especiales: Piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar, como codos, manguitos, tes, juntas, etc.

Postura de riego: En sistemas móviles y semifijos, cada una de las posiciones en que se disponen los ramales de aspersión para regar una parcela.

Presión: Fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de una tubería y los distintos elementos que componen el sistema de riego.

Pulgada: Unidad de medida anglosajona. Una pulgada equivale a 2.54 centímetros o 25.4 milímetros.

Ramal de aspersión: Conjunto de tuberías que generalmente van unidas unas a otras mediante acoples o enganches rápidos, que deriva de la red principal o de alimentación, y donde van conectados los portaaspersores.

Regulador de presión: Elemento de seguridad que se instala en puntos estratégicos del sistema para mantener uniforme la presión de trabajo, y evitar sobrepresiones que puedan causar daño en alguna parte de la instalación.

Sales: Formas en que se encuentran en el suelo los compuestos nutritivos para las plantas. En contacto con el agua tienden a disolverse, quedando así disponibles para ser absorbidas.

Sistema de bombeo: Conjunto de elementos de la instalación que aportan la energía necesaria al sistema para suministrar el caudal de agua requerido a la presión necesaria, de tal manera que haga funcionar los emisores correctamente.

Sistema de riego móvil: Aquel sistema de riego por aspersión donde todos los elementos de la instalación son móviles, es decir, se van trasladando de una zona a otra a medida que se va regando.

Solape: Superficie del suelo mojada por dos o más aspersores distintos.

Textura: Propiedad física del suelo con la que se refleja la proporción de partículas minerales de arena, limo y arcilla que existen en su fracción sólida.

Toma o boca de riego: Elemento de conexión entre el ramal de aspersión y la tubería que lo abastece.

Tomas manométricas: Elementos que, situados en sitios estratégicos de la instalación, permiten conectar un manómetro para medir la presión a la que circula el agua por la conducción.



Topografía: Relieve del terreno.

Tubería de aspiración: Tubería mediante la cual se conduce el agua desde su superficie hasta el eje de la bomba.

Tubería de impulsión: Aquella tubería que conduce el agua desde la bomba hasta su destino final.

Tubos portaaspersores: Elementos de la red de distribución que se utilizan para unir el aspersor con el ramal de aspersión. Pueden tener distintas longitudes (0.25 - 2 m.) y diámetros.

Unidad de riego: Superficie de la parcela de cultivo que se riega de una sola vez.

Uniformidad de aplicación: Mayor o menor homogeneidad en la cantidad de agua que losaspersores aplican sobre el suelo.

Velocidad de infiltración: Mayor o menor rapidez del agua en penetrar en la matriz sólida del suelo.

Zona regable: Superficie de regadío que tiene derecho a agua y comparte una red de distribución, cuyo uso y gestión del agua está regulada por comunidades de regantes.





Bibliografía

- Ávila, R.; Cabello, A.; Ortiz, F.; Lirola, J.; Martín, A. (1996). **Agua, Riego y Fertirrigación**. Dirección General de Investigación y Formación Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Castañón León, G. (1991). **Riego por aspersión**. Mundi-Prensa. Madrid.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1996). **Curso de riego para regantes**. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- Fuentes Yagüe, J.L.; Cruz Roche, J. (1990). **Curso Elemental de Riego**. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Garrido Valero, M^a Soledad (1996). **Prácticas agrarias compatibles con el medio natural: El agua**. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Oyonarte N.; Fernández R.; Mateos L. (1998). (CD-Rom). **Curso de Riego por Aspersión**. Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Guadalquivir. Sevilla.
- Tarjuelo Martín-Benito, J.M. (1999). **El Riego por Aspersión y su Tecnología**. Mundi-Prensa. Madrid.



AGRICULTURA	
GANADERÍA	
PESCA Y ACUICULTURA	
POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA	
FORMACIÓN AGRARIA	
CONGRESOS Y JORNADAS	
R.A.E.A.	

ISBN 84-8474-027-7



9 788484 740278

P.V.P. 1.600 PTAS
9,62 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca