

# **EL RIEGO POR ASPERSIÓN.**

José M<sup>a</sup> Tarjuelo Martín-Benito  
Centro Regional de Estudios del Agua-CREA-  
*Universidad de Castilla-La Mancha*

Junio de 2005

## 1.-DESCRIPCIÓN GENERAL

El riego por aspersión implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en las tuberías portaemisores (ramales, alas o laterales de riego) induce un caudal de salida. La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor.

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores. Estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores. De todos ellos, los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento.

El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores.

*Como efectos derivados de esta aplicación están:*

- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración de agua del suelo, produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda.
- El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas si estas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, formación de costra, erosión etc.
- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico a distancias entre 1 y 3 m, que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo.

La aplicación uniforme del agua depende principalmente de: el “*modelo*” de reparto de agua del aspersor, así como de la disposición y espaciado de los aspersores en el campo (*marco de riego*).

A estos factores hay que añadir otro que es el *viento*, (principal distorsionador de la uniformidad de reparto), que juega un papel fundamental en las “pérdidas por evaporación y arrastre” producidas durante el proceso de aplicación y donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales. Por otra parte, el modelo de reparto de agua del aspersor viene definido por: el propio *diseño* del aspersor, el tipo y número de *boquillas* y la *presión* de trabajo.

A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la presencia o no de vaina prolongadora de chorro (VP), que mejora la uniformidad de reparto de agua para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s, o la *duración del riego*, cuyo incremento favorece a la Uniformidad de Distribución (UD) por compensarse en parte las distorsiones producidas por el viento ya que este varía normalmente con el tiempo.

En riegos de media o alta frecuencia, la falta de uniformidad en un riego como consecuencia de la acción del viento puede verse compensada en los riegos sucesivos al ir cambiando normalmente las condiciones del viento. Esta mejora de uniformidad acumulada de

varios riegos será más aprovechable por el cultivo cuanto mayor sea la frecuencia de riego ya que de este modo serán menores los déficit hídricos transitorios existentes entre riegos.

En cuanto a los factores prácticos a tener en cuenta en el funcionamiento de los aspersores pueden destacarse:

### a) Caudal emitido

Es función del tamaño de las boquillas y de la presión existente en las mismas. Viene dado por la curva característica del emisor.

$$q = K \cdot H^x$$

Siendo:

q caudal emitido (l/h)

H presión en boquillas (m.c.a.)

K y x constantes del aspersor, donde  $x \approx 0,5$

### b) Marco o disposición conjunta de los aspersores

Determina las interacciones o solapes entre los modelos de distribución de agua de los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua.

Los marcos normalmente adoptados como separación entre aspersores dentro del ramal y entre ramales suelen ser: 12 x 12, 12 x 15, 12 x 18, 15 x 15 y 18 x 18 en rectángulo y 18 x 15 en triángulo, medidos todos ellos en metros. En general son múltiplos de 6 metros para sistemas con tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas.

El espaciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema. Heerman y Kohl (1980) recomiendan separaciones del 60 % del diámetro efectivo del aspersor para marcos en cuadrado o en triángulo y el 40 % y 75 % para marcos en rectángulo, siempre que se trate de vientos menores de 2 m/s. Este espaciamiento debe reducirse al aumentar la velocidad del viento según los siguientes valores orientativos:

<u>% de reducción</u>	<u>Velocidad viento (m/s)</u>
10-12	4-6
18-20	8-9
25-30	10-11

En los datos anteriores, se entiende por diámetro efectivo el 95 % del diámetro mojado para aspersores con dos boquillas, y el 90 % de este para aspersores con una boquilla.

Otros autores dan orientaciones ligeramente diferentes, y es que cada aspersor tiene en realidad un comportamiento diferente y es necesario que los fabricantes den la "distribución pluviométrica radial o espacial", o mejor, el comportamiento real, medido con ensayos de campo, de la uniformidad de reparto de agua del aspersor en los principales marcos de riego, al menos para condiciones de baja velocidad del viento.

### c) Pluviometría media del sistema

Este parámetro (P en mm/h) es únicamente función del caudal descargado por el aspersor (q en l/h) y del área correspondiente al marco de riego adoptado (S en m<sup>2</sup>). Se define como:

$$P = q / S$$

Representa la pluviometría que se obtendría si se distribuyera uniformemente el caudal emitido por el aspersor en la superficie que teóricamente riega, de acuerdo con el marco adoptado.

Este es el parámetro que más frecuentemente se utiliza en la práctica para definir la intensidad de lluvia.

#### **d) Distribución del agua sobre el suelo.**

Las “rociadas” emitidas por cada aspersor deben distribuirse de forma que el impacto de las gotas y la intensidad de lluvia no perjudiquen las condiciones físicas del cultivo o del suelo, logrando la máxima uniformidad posible.

La fricción con el aire de la vena líquida (chorro) constituye la principal causa de que el agua llegue pulverizada al suelo, aunque también influye el choque con el brazo oscilante y la acción del “rompe chorro”, que puede colocarse opcionalmente.

El tipo de chorro emitido depende principalmente del diseño geométrico del aspersor y las boquillas, de su presión de trabajo y de las condiciones de viento. Al aumentar la presión disminuye el tamaño de gota, y un exceso de presión (normalmente por encima de 4 bar ó 4 kg/cm<sup>2</sup>) produce una excesiva pulverización del chorro y una bajada brusca de uniformidad de riego cuando hay viento.

### **1.1. Clasificaciones de los sistemas de aspersión**

Resulta conveniente clasificar los sistemas de aspersión en función de la movilidad de los diferentes elementos del sistema ya que facilita la comprensión de su funcionamiento y puede dar idea de los gastos de inversión necesarios.

Los sistemas de riego por aspersión pueden agruparse en dos grandes familias: los estacionarios, que permanecen fijos mientras riegan, y los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación del agua.

	Móviles	
	Semifijos	- Tubería móvil (manual o motorizada)
Estacionarios		- Tubería fija
	Fijos	- Permanente (cobertura total enterrada)
		- Temporales (cobertura total aérea)
		-
Desplazamientos o continuos	Ramales	- Pivote o pivote (desplazamiento circular)
	desplazables	- Lateral de avance frontal
		- Ala sobre carro
	Aspersor gigante	- Cañones viajeros
		- Enrolladores

Dentro de la primera familia están los sistemas móviles, donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba.

Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre “patines” a una determinada distancia del lateral (30 a 45 m), pudiéndose realizar varias *posturas* de riego sin necesidad de cambiar la tubería. Existe otra variante en la que todas las tuberías son fijas, desplazándose únicamente los tubos portaaspersores y los aspersores.

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, lo que implica que todas las tuberías tengan que estar enterradas, mientras que los sistemas fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma, lo que implica que los ramales y sus tuberías de alimentación tengan que estar en superficie, pudiendo ser de aluminio o de PVC.

Para la elección del sistema pueden tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La tendencia actual es hacia los sistemas de baja presión, que permitan el riego nocturno (por menor evaporación, velocidad de viento y coste energético), y sean de fácil manejo y automatización. En este sentido uno de los sistemas más interesantes son los pivot o pivotes.
- En parcelas pequeñas o de forma irregular se adaptan mejor los sistemas fijos.
- Los sistemas semifijos de tubería móvil se están utilizando cada vez menos, a pesar de ser los que requieren menor inversión, por las mayores necesidades de mano de obra, incomodidad de manejo y peor calidad del riego, siendo más utilizados los sistemas fijos.
- Los laterales de avance frontal son muy adecuados para parcelas rectangulares de gran longitud, consiguiendo una alta uniformidad de riego con baja presión, pero requieren mayor inversión que los pivotes y tienen un manejo más complicado. Una variante que parece muy interesante son los laterales de tamaño medio (inferiores a 300 - 350 m) que pueden regar con movimiento frontal o en círculo, teniendo la ventaja de su gran movilidad y adecuación a parcelas con forma más o menos irregular. En este caso, puesto que ambas situaciones funcionan con diferente carta de emisores, se necesitan válvulas hidráulicas en la base de aquellos emisores no comunes a ambas disposiciones, que entran en funcionamiento únicamente en el momento adecuado comandados por un circuito hidráulico.
- Las alas sobre carro son también sistemas interesantes por su gran movilidad y adecuación a diferentes condiciones de parcelas y cultivos, permitiendo la utilización de la baja presión, por lo que están sustituyendo en algunos casos a los aspersores gigantes (cañones), por sus problemas de elevada presión de trabajo, gran tamaño de gota, mayor distorsión por el viento, etc., que los hacen casi únicamente adecuados para “riegos de socorro”, praderas, etc. No obstante, los cañones de riego requieren menor inversión que las alas sobre carro y son de más fácil manejo, lo que está limitando en la práctica el uso de las alas sobre carro.

## **1.2. Tendencias del riego por aspersión**

La tendencia actual en sistemas de aspersión es hacia:

- La utilización de la baja presión, donde el adecuado diseño de los emisores juega un papel fundamental, debiendo tender a que tengan el máximo alcance y un tamaño de gota medio

(entre 1,5 y 4 mm), lo que reduce la distorsión originada por el viento (y su efecto sobre la uniformidad de aplicación de agua) y las pérdidas por evaporación y arrastre por el viento.

- La optimización del diseño y el manejo (programación de riegos) para reducir la inversión, alcanzar altas eficiencias de aplicación y ahorrar agua y energía. Esto va ligado normalmente a un importante apoyo informático.
- La automatización parcial, y en algún caso total, que facilite el manejo de la instalación y el riego nocturno, con menor coste energético y menores pérdidas de agua en la aplicación, unido normalmente además a vientos menos intensos.

### **1.3. Adaptabilidad del método. Ventajas e inconvenientes**

Las ventajas del riego por aspersión se derivan principalmente de dos aspectos fundamentales:

- ◆ El control de riego sólo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad de reparto).
- ◆ La uniformidad de aplicación es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

Una enumeración de las *principales ventajas* puede ser:

- Puesto que la dosis de riego únicamente es función del tiempo de cada postura, puede adaptarse tanto a dosis grandes como a dosis pequeñas.
- Al poder modificar fácilmente la pluviometría es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30 mm/h,) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- En el interior de las parcelas no necesita, en general, ningún tipo de sistematización, lo que permite una buena mecanización. Únicamente en el caso de sistemas con tuberías en superficie durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro. En el primer caso con la condición de que el dimensionamiento se realice para el cultivo más exigente, ya que la cantidad de agua a aplicar sólo es función del tiempo por postura una vez dimensionada la instalación. Dada la eventualidad de los riegos de socorro, los sistemas que mejor se adaptan serán los móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de acción, como los cañones de riego).
- Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante en nascencia por la posibilidad de ahorrar agua.
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, a costa normalmente de una mayor inversión.
- En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como la lucha antihelada.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil, a la vez que es más cómodo y de más fácil manejo que el riego por superficie.

- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y por tanto más en contacto con la solución del suelo. Como principal inconveniente en este sentido está el hecho de que la energía empleada en la aplicación encarece la operación.
- Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión, pero no pueden adaptarse al riego en bloques, que consiguen mayor uniformidad y eficiencia de riego, ni a los riegos de alta frecuencia.

*Una enumeración de los principales inconvenientes puede ser:*

- ◆ El posible efecto de la aspersión sobre plagas y enfermedades.
- ◆ Interferencias sobre los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias.
- ◆ Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o impurezas en la misma.
- ◆ Mala uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos.
- ◆ Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costes de mantenimiento y funcionamiento (energía).

Conviene observar que las ventajas o desventajas no son tales mientras no se demuestre que la relación beneficio-coste del proyecto de aspersión sea superior o inferior a la obtenida con otras alternativas.

## **2. RECOMENDACIONES PARA UN EFICIENTE DISEÑO Y MANEJO DEL RIEGO**

La correcta utilización de los sistemas de riego por el regante requiere:

- Conocer y controlar los principales factores que intervienen en el proceso de aplicación del agua de riego como son: la presión y la pluviosidad como factores controlables y el viento como factor poco controlable. La presión es el principal factor a controlar en una instalación de riego por aspersión. El control de la pluviosidad es fundamental en las máquinas de riego (cañones, pivotes o laterales de avance frontal, y más si trabajan a baja presión), donde el regante debe conocer las velocidades de avance de la máquina para que no se produzca escorrentía, el sector circular mojado o la separación entre posiciones de riego en el caso de cañones, etc. El viento tiene escasa influencia en el caso de riego con pivotes y laterales autodesplazables, pero su efecto es importante en el riego con cañones y también en el riego estacionario (Tarjuelo, 1999<sup>1</sup>), debiendo conocer lo que puede hacerse para minorar su efecto distorsionador de la uniformidad de reparto de agua.
- Que la instalación esté bien diseñada, conservada y manejada. El diseño es una responsabilidad del técnico, y no siempre lo más barato es lo mejor. La conservación y el manejo es responsabilidad del regante, aunque este último puede necesitar asesoramiento exterior, con cierta responsabilidad de los organismos públicos.

---

<sup>1</sup> TARJUELO, J.M. (1999). El riego por aspersión y su tecnología. Edt. Mundi-Prensa. Madrid

- Aplicar las técnicas de programación de riegos que indican el momento y la cuantía de cada riego. En este sentido puede ser importante la creación de organismos de asesoramiento de riegos como el SIAR (<http://crea.uclm.es> o bien <http://www.jccm.es>), existen en Castilla-La Mancha desde el año 2000.

Como idea fundamental puede destacarse pues que, en una instalación de riego por aspersión el regante debe vigilar sobre todo la "PRESIÓN", y si se riega con máquinas, también la PLUVIOSIDAD. El resto de factores puede considerarse que no presentan problema si se ha realizado un correcto diseño, a excepción de la aplicación de las técnicas de programación de riegos que requieren la ayuda de un servicio de asesoramiento de riegos.

## 2.1 Recomendaciones para el diseño y manejo

Con el fin de establecer una serie de directrices generales a tener en cuenta a la hora de realizar el diseño y manejo de los sistemas de aspersión, se exponen a continuación un resumen de recomendaciones, basado en ensayos de campo, cuya justificación puede verse con mayor detalle en Tarjuelo 1999.

### A) En sistemas estacionarios.

- Normalmente se consigue mayor coeficiente de uniformidad (CU) utilizando dos boquillas en el aspersor que una sola, con "vaina prolongadora" (VP) en la boquilla grande para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s. Es importante en tal caso que la boquilla pequeña esté correctamente diseñada para conseguir que el modelo radial de distribución de agua del aspersor en ausencia de viento tenga una forma triangular, pero sin producir un exceso de pluviosidad en las proximidades del aspersor (no más de 6 – 8 mm/h) pues sería un síntoma claro de un exceso de gotas pequeñas, que son fácilmente arrastradas por el viento y hace disminuir rápidamente la uniformidad de riego al aumentar la velocidad el viento, a parte de originar mayores pérdidas por evaporación. Si la boquillas pequeña no cumple estas condiciones, puede ser más favorable utilizar una sola boquilla en el aspersor ya que, aunque se obtenga una uniformidad de riego algo menor con velocidades de viento bajas (< 3 m/s), suelen conseguir mayor uniformidad para vientos más intensos.
- Se deben procurar evitar las presiones superiores a 400 kPa ya que, aparte del mayor coste económico, produce mayor proporción de gota pequeña, con las consecuencias antes apuntadas.
- Diseñar los sistemas con pluviosidades bajas (6-8 mm/h) para que, además de evitar problemas de encharcamiento y escorrentía, sea mayor el tiempo de riego. Así se obtienen mayores valores de CU al compensarse en parte las distorsiones producidas por el viento.
- Se obtienen mayores valores de CU con marcos cuadrados (15m x 15m y 18m x 18m) que con los rectangulares equivalentes (12m x 18m y 16m x 20m) cuando el aspersor lleva 2 boquillas, cualquiera que sea la velocidad del viento. En aspersores con 1 boquilla sucede prácticamente lo mismo si la boquilla no lleva VP, pero ocurre justo lo contrario cuando a la boquilla se le incorpora la VP.
- En marcos rectangulares como el 12m x 18m, si se utilizan aspersores con 1 boquilla, parece más recomendable que el menor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, sin embargo, con aspersores de 2 boquillas, parece mejor que el mayor espaciamiento sea paralelo a la dirección del viento, aunque en este caso el efecto de la dirección del viento es mucho menor, sobre todo si la boquilla grande lleva VP.



- Para riego en bloque, no se han encontrado diferencias significativas en cuanto a la uniformidad de reparto de agua con la altura del aspersor entre 0,6 y 2,2 m, cualquiera que sea la velocidad del viento. Puede incluso conseguirse mayor uniformidad con el aspersor a 2,2 m cuando el modelo radial de reparto de agua no es muy triangular.
- Los aspersores sectoriales deben trabajar con una sola boquilla, evitando así una excesiva acumulación de agua en las proximidades del aspersor.
- Para cultivos herbáceos extensivos, el marco más pequeño que se suele recomendar es el 12m x 12m y el más grande el 18m x 18m. Para estos marcos la presión media en el ramal portaaspersores debe estar entre 250 y 350 kPa.
- Con el sistema de ramales móviles, se recomienda utilizar marcos de 12m x 15m ó 12m x 18m para no tener que mover demasiadas veces los tubos, con dos boquillas en el aspersor (4+2,4 mm) y una presión media de 300 kPa. No obstante, en el marco 12m x 18m pueden obtenerse también valores altos de CU con una sola boquilla (4,8 mm).
- Para sistemas fijos en superficie se recomienda utilizar marcos de 12m x 15m en rectángulo o triángulo y 18m x 15m en triángulo, con dos boquillas en el aspersor (4,4+2,4 mm ó 4,8+2,4 mm) y una presión media de 300 y 350 kPa respectivamente. Otro marco interesante es el 15m x 15m con boquillas 4,4+2,4 mm y presión media de 300 - 350 kPa.
- Para sistemas fijos enterrados, que son los más interesantes si se riega de forma continuada la misma parcela, los marcos de riego más recomendables son 18m x 15m en triángulo y 15m x 15m ó 18m x 18m en cuadrado. No obstante para dar un número entero de pases de sembradora con espaciamiento entre surcos de 0,7 m por ejemplo, los 18 m suelen ser en realidad 17,5 m y los 15 m suelen ser 14 m. Para estos marcos, lo más recomendable es utilizar boquillas de 4,4+2,4 mm y 4,8+2,4 mm, a una presión media en ramal de 300 a 350 kPa, según el tamaño del marco, buscando una pluviosidad media del sistema en torno a 7 mm/h

Por último, habría que destacar el hecho de que tanto la Administración Pública como los usuarios particulares deberían exigir, antes de la compra del material de riego, la información técnica adecuada así como la correspondiente homologación o certificación del material. De la misma forma, antes de la entrega de la obra, debería exigirse una prueba de evaluación a la instalación para tener una idea de la uniformidad de reparto de agua que consigue. No hay que olvidar que no siempre la instalación más barata es la más conveniente.

## **B) en riego con laterales autopulsados**

- Se consigue normalmente mayor uniformidad de riego que con los sistemas estacionarios al ser menos afectados por el viento.
- No se han encontrado diferencias significativas en la uniformidad de reparto por factores tales como: tamaño del equipo, tipo de emisor, presión de trabajo o velocidad y dirección del viento, aunque los equipos pequeños (menores de unas 10 ha) son más afectados por el viento, sobre todo cuando este sopla en la misma dirección del lateral.
- Mejora la eficiencia de descarga (relación entre el agua que llega al suelo y el agua descargada) cuando el emisor se sitúa a menor altura (1 m), con unas diferencias de alrededor del 5% respecto a la altura de 2,5 m, y con mayores diferencias (7%) respecto a la altura de 4 m. Las mejores eficiencias se han conseguido con el emisor Rotator a 2,5 m, con valores superiores del 90%.

- En general, la mejor uniformidad en la distribución de agua se consigue a 2,5 m de altura, aunque con pocas diferencias respecto a 4 m. Con los emisores Rotator y I-Wob se obtienen los mayores valores de coeficientes de uniformidad, superiores al 90%.
- Con Spray, la separación entre emisores debe estar en torno a 2 m para poder obtener buena uniformidad, debiendo solaparse más del 100% cada emisor con el anterior y siguiente. En este caso es frecuente obtener una uniformidad de distribución más baja sin viento al no entrecruzarse los chorritos que salen del emisor.
- La disposición de emisores más ventajosa para alcanzar un equilibrio entre pérdidas por evaporación y arrastre y uniformidad de riego parece ser situar los emisores a unos 2 m sobre el suelo, con una anchura mojada en torno a los 12-15 m, lo que requiere una presión de trabajo de 1,5 a 2 bar, o algo menor si no hay problemas de escorrentía. En estas condiciones pueden utilizarse separaciones entre emisores de 2,5 a 3 m, no debiendo superar en general los 5 -7 m con los emisores de mayor alcance como los Rotator.

### C) riego con cañones.

Con estos sistemas de riego se puede obtener buena uniformidad si se elige bien: la presión de trabajo, el tamaño y tipo de boquillas, el espaciamiento entre bandas regadas, el ángulo del sector regado y la velocidad de avance del cañón es uniforme.

Estos sistemas son especialmente adecuados para cultivos que cubran el suelo (debiendo poner especial cuidado durante la germinación y floración) y para zonas que necesitan riegos de apoyo en periodos cortos sin lluvia, no siendo adecuados para suelos con baja capacidad de infiltración

A continuación enumeramos una serie de recomendaciones para el diseño y manejo:

- En función del caudal descargado, la presión más adecuada para obtener un tamaño de gota medio es la siguiente.

Presión (kPa)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
400 kPa	20
500 kPa	50
600 kPa	90

- Si la máxima diferencia de presión entre las distintas posiciones de riego en la parcela supera el 20% de la presión de trabajo, es necesario instalar un regulador de presión antes del cañón
- El ángulo de descarga óptimo está en torno a 21° - 23°
- El ángulo óptimo del sector regado está entre 200° - 220°
- Durante la germinación o floración puede ponerse una boquilla más pequeña o de tipo arandela para que pulverice más el chorro.
- El espaciamiento más recomendable entre bandas mojada (como porcentaje del diámetro mojado) en función de la velocidad del viento es:

Velocidad viento (m/s)			
0 - 1	1 - 2,5	2,5 - 5	> 5

80	75 - 70	65 - 60	55 - 50
----	---------	---------	---------

- A ser posible se procurará desplazar el cañón perpendicularmente a los vientos dominantes para que la distorsión por el viento sea menor
- La máxima variación velocidad admisible en el desplazamiento del cañón es del 10 - 15 % de la velocidad necesaria para dar la dosis de riego deseada.
- Para que los bordes de la parcela queden bien regados se recomienda situar el cañón al inicio del riego a una distancia del borde igual a  $2/3$  del radio mojado. En esta posición debe permanecer sin desplazarse un tiempo  $T_i = 2/3 (\alpha/360) (R/V)$ . En el caso de enrolladores, debe permanecer también sin avanzar un tiempo  $T_{fe} = 2/3 (R/V) (1 - \alpha/360)$  al final de la banda mojada. En las anteriores fórmulas  $R$  = radio de alcance del cañón (m),  $\alpha$  = ángulo del sector circular y  $V$  = velocidad desplazamiento (m/h)

## 2.2. Factores que condicionan la uniformidad del riego

En la modernización de regadíos es importante identificar y valorar los distintos factores que condicionan la calidad del riego que se consigue antes y después de las actuaciones. Algunos factores que afectan a la uniformidad de reparto del agua tienden a compensarse en los sucesivos riegos, mientras que otros tienden a intensificarse.

A) Para el caso de equipos **pivote** pueden citarse entre los primeros, la falta de uniformidad en la velocidad de desplazamiento del equipo, y entre los segundos:

- El funcionamiento defectuoso de algún emisor.
- Las diferencias en las condiciones de funcionamiento de los aspersores por cambios de elevación o pérdidas de carga.
- La existencia de escorrentía.
- La pobre distribución del agua en los bordes.

B) En **coberturas totales**, entre los factores que tienden a compensarse en los sucesivos riegos estarían la distorsión producida por el viento sin dirección dominante cuando se riega en bloques, y entre los que tienden a intensificarse:

- El funcionamiento defectuoso de aspersores (por problemas en la rotación, en la homogeneidad de tamaños y tipos de boquillas, en la adecuada combinación presión-boquillas-marco de riego, en la inclinación del tubo portaaspersor, etc.).
- Una diferencia de presión excesiva entre distintos puntos de la parcela (superior al 20 % de la presión media de los aspersores). Esto suele ser por un incorrecto diseño hidráulico de la instalación.
- Un número inadecuado de aspersores funcionando en el bloque. Esto se presenta por ejemplo cuando se abren mas válvulas de las consideradas en el diseño de la instalación

C) Para sistemas semifijos de ramales móviles tendríamos una situación semejante, con una mayor distorsión por el viento al regar con ramales independientes en lugar de en bloque. Entre los factores que tienden a acumular su efecto negativo sobre la uniformidad estarían además:

- Las diferencias en el caudal descargado por los aspersores como consecuencia de las diferencias de cota en el terreno cuando un mismo lateral se mueve por topografías irregulares.
- La mala distribución del agua en los bordes de la parcela.
- Marco de riego no constante en toda la parcela, siendo relativamente frecuente cambiar el marco de riego cerca de los bordes de la parcela.

No podemos terminar este apartado sin comentar el sistema LEPA (Low Energy Precision Application) (Lyle y Bordovsky ). Este realiza la aplicación de agua directamente sobre la superficie del suelo, bien mediante un borboteador o mediante una manga de arrastre, con un laboreo específico para proporcionar la capacidad de almacenamiento superficial de agua necesaria. El LEPA se utiliza de forma que se riegan surcos alternos, pero podría utilizarse en todos los surcos con un coste adicional de infraestructura. El espaciamiento entre emisores suele ser de unos 1,5 a 2,0 m. dependiendo de la separación predominante entre filas de plantas. Lo ideal es que no exista tráfico de tractores en los surcos de riego para conseguir una compactación mínima y una tasa de infiltración máxima. La capacidad de almacenamiento superficial se incrementa realizando diques a lo largo de los surcos, dependiendo el espaciamiento entre los diques del diseño implementado, siendo común una distancia de 1,2 a 2,4 m. Este tipo de estructura puede almacenar entre 40 y 50 mm. de lluvia, frente al riego por surcos que sólo permite almacenar entre 20 y 25 mm. Las pequeñas balsas pueden almacenar sólo entre 6 y 13 mm. de lluvia, y consecuentemente son menos útiles en sistemas LEPA, aunque puedan resultar más útiles en otros sistemas de aspersión.