



INTRODUCCIÓN

(T/1 a T/6) - (D/1 a D/3)

El cultivo de la remolacha azucarera en nuestro país se distribuye en tres amplias zonas: Norte, Centro y Sur. En las zonas Norte y Centro la siembra del cultivo es en primavera, siendo prácticamente en su totalidad de regadío, mientras que en la zona Sur la siembra del cultivo es en otoño, donde aproximadamente la mitad de la superficie es de secano y la otra mitad de regadío.

Las tres zonas remolacheras se encuentran entre los paralelos 36 y 42 de latitud Norte. En esta amplia franja existe un déficit hídrico (diferencia entre consumo de la remolacha y lluvias) que hace necesario el riego para cubrir las necesidades de agua del cultivo. Este déficit oscila en función de la zona de cultivo, y según se trate de años secos o húmedos.

A la hora de aportar mediante riego el agua necesaria que compense el déficit, es inevitable que surjan preguntas como:

- ¿Cuándo se debe iniciar el riego?
- ¿Cuánta agua hay que aportar a la remolacha en toda la campaña?
- ¿Cuándo hay que aplicar el riego y qué volumen aplicar?
- ¿Cómo aplicar el agua al suelo?
- ¿Cuándo finalizar la campaña de riego?

A todas estas preguntas se intenta contestar en los distintos apartados de la charla mediante el análisis de los diferentes factores que afectan a cada una de las cuestiones planteadas.

Para la aplicación del agua necesaria mediante el riego existen varias posibilidades. Tres son los métodos más utilizados: riego por aspersión, riego por gravedad y riego localizado.

La aplicación del agua mediante **riego por aspersión** es la más utilizada en el cultivo de la remolacha, debido a sus posibilidades en cuanto a manejo del riego, automatización y control del mismo, así como a los buenos

Riego por aspersión





resultados obtenidos con este sistema en este cultivo. En gran parte de la charla se analizarán sus características y las condiciones particulares de manejo.



Riego por gravedad

La aplicación del agua mediante el **riego por gravedad** se realiza principalmente en los regadíos desarrollados por las Administraciones Públicas (nacionales o regionales). En este sistema se aplica una lámina libre de agua a lo largo de un cauce permeable. Para el riego de la remolacha el más utilizado es el método de riego por surcos. El riego por surcos exige una adecuada explanación para que la pendiente a lo largo del surco sea constante. Por ser un sistema poco eficiente con el agua, difícil de mejorar y aumentar el riesgo de pudriciones en la raíz consideramos que no es el más adecuado para el riego de la remolacha.

La aplicación del agua mediante **riego localizado** (fundamentalmente goteros y cintas goteadoras), es el sistema de aplicación de mayor perfección. Este sistema tiene actualmente un uso muy limitado en el cultivo de la remolacha, teniendo como ventajas el ahorro de agua y la posibilidad de fertirrigación. Pero presenta también dificultades, sobre todo en cuanto al manejo, conservación, dificultad de tratamientos y labores, además del elevado coste de la instalación.

Las necesidades de riego se analizan, en primer lugar de un modo global, mediante datos climatológicos medios de una serie de 30 años, y se describen métodos de programación del riego para aplicar el agua en condiciones particulares y según las necesidades reales de cada parcela.

En el capítulo dedicado a manejo del riego se describe el comportamiento de la remolacha en las diferentes fases del cultivo ante déficit de agua, y la forma más eficiente de ahorrar agua.

En resumen, se analiza el riego de la remolacha en todas sus vertientes con la idea de optimizar el importante factor de producción que es el agua.



Riego localizado

1. INGENIERÍA DEL RIEGO (T/7)

1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASPERSORES ESTACIONARIO (T/8)

COMPONENTES

DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

(T/9) - (D/4 a D/6)

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con los hidrantes, las tuberías portaemisores (ramales o alas 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.



Grupo de bombeo

LA APLICACIÓN DEL AGUA (T/10 a T/13) - (D/7 y D/8)



El proceso de aplicación de agua por un aspersor consiste en un chorro de agua que sale a gran velocidad por la boquilla del aspersor, debido a la presión, y que se dispersa por efecto del rozamiento del

Instalación de distribución



chorro de agua con el aire, generando un conjunto de gotas que se distribuyen sobre la superficie del suelo.

El proceso tiene como finalidad aplicar el agua en el suelo, quedando a disposición del cultivo, bien mediante un único aspersor o bien mediante varios aspersores, de modo que el reparto del agua sea lo más uniforme posible en el área deseada.

En relación con la aplicación del agua al suelo hay que tener en cuenta los siguientes efectos:

- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua aplicada.
- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración del agua en el 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 éstas son muy grandes; y su repercusión en la infiltración, encharcamiento, formación de costra, erosión, etc.

La aplicación uniforme del agua depende principalmente del modelo de reparto del aspersor y de la disposición de los aspersores en el campo (marco de riego).



*Emisor
tipo aspersor*



Aspersores regando

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. El viento, principal distorsionador de la uniformidad de reparto, juega un papel fundamental en las pérdidas por evaporación y arrastre producidas durante el proceso de aplicación, donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales.



A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la introducción de vaina prolongadora de chorro (VP) en la boquilla, originando un chorro más compacto, o la duración del riego, cuyo incremento favorece la uniformidad de distribución por compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento al variar éste con el tiempo.

CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

(T/14 a T/19) - (D/9 a D/11)

Los factores prácticos a tener en cuenta en el funcionamiento de los aspersores son:

a) Caudal emitido

Es función del tamaño de sus boquillas y de la presión existente en las mismas. También depende, en menor medida, de la forma del orificio de salida del chorro y de si lleva vaina prolongadora de chorro (VP) o no. Normalmente se expresa en litros por hora (l/h.), litros por segundo (l/s.) o metros cúbicos por hora (m³/h.)



Medición del caudal emitido por un aspersor



Medida de la presión de salida en boquilla

b) Marco

El marco determina la interacción o solape entre los círculos mojados por los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua. En general son múltiplos de 3 m. para sistemas con tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas. La superficie (S) regada por cada aspersor se calcula multiplicando la distancia entre aspersores por la distancia entre líneas. Según la disposición de los aspersores, los marcos pueden estar en cuadrado/rectángulo o romboidal (tresbolillo).



c) Pluviometría media del sistema

Es la relación que existe entre el caudal descargado por el aspersor (q) y la superficie correspondiente al marco de riego (S):

$$P \text{ (mm/h ó l/m}^2\cdot\text{h)} = q \text{ (l/h)} / S \text{ (m}^2\text{)}$$

Esta pluviometría debe ser siempre inferior a la capacidad de infiltración del suelo más el almacenaje superficial, ya que en caso contrario se podría producir erosión o encharcamiento; esto último conduciría a su vez a problemas de asfixia radicular y al desarrollo de enfermedades bacterianas y criptogámicas.



Instalación para la evaluación de emisores

de las gotas en las proximidades es mucho menor que el producido lejos de él. Los principales factores que afectan a la distribución de los tamaños de gotas son la presión de funcionamiento y el diámetro de la boquilla. Al aumentar la presión, sin variar el tamaño de la boquilla, se incrementa el número de gotas de menor tamaño, mientras que al aumentar el diámetro de la boquilla, a una misma presión, crece la proporción de gotas de tamaño mayor, si bien el efecto del tamaño de la boquilla es mucho menor que el de la presión. Por ello, en los riegos de nascencia, es una buena práctica aumentar la presión para que el impacto de las gotas no destruya la estructura superficial del suelo, evitando así la formación de costra que impida la nascencia de la remolacha.

d) Tamaño de gota

La distribución de los distintos tamaños de gota producidos por el aspersor afecta directamente al modelo de reparto de agua de los aspersores. Si se producen gotas demasiado pequeñas, la evaporación aumenta y el modelo de reparto de agua resulta más sensible a la distorsión por el viento. Por el contrario, si las gotas son demasiado grandes podrían impactar en el suelo destruyendo la estructura con la consiguiente reducción de la capacidad de infiltración y la formación de costra. En función de la distancia al aspersor, el tamaño medio

e) Uniformidad de riego

El diseño del aspersor, la presión, el viento, el marco de riego, etc., condicionan la distribución del agua. Así, si cada punto de la parcela recibe la misma cantidad de agua, diremos que tenemos





Evaluación de uniformidad en el campo mediante una red de pluviómetros

una uniformidad de aplicación perfecta (Coeficiente de Uniformidad, $CU = 100\%$), lo cual no se da en la práctica. Lo normal es que haya puntos que reciban más agua del deseado y otros que reciban menos. Todo esto tiene una repercusión en la producción y en el consumo de agua. Así, cuanto peor sea la uniformidad, necesitaremos más agua para conseguir la producción óptima, y para una misma cantidad de agua, cuanto mejor sea la uniformidad, más producción obtendremos.

CARACTERIZACIÓN DEL REPARTO DE AGUA (T/20, T/21) - (D/12)

Los procedimientos para determinar el reparto de agua de los aspersores pueden agruparse en tres tipos:

- a) Colocar la red de pluviómetros en el campo a una instalación existente (ver evaluación del sistema).
- b) Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo aspersor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego.
- c) Reducir la red de pluviómetros a una fila según un radio de círculo mojado y determinar un “modelo radial”, en ausencia de viento y con alta humedad relativa. Girando el modelo radial alrededor del aspersor puede deducirse la pluviometría recogida en la red de pluviómetros del caso anterior.

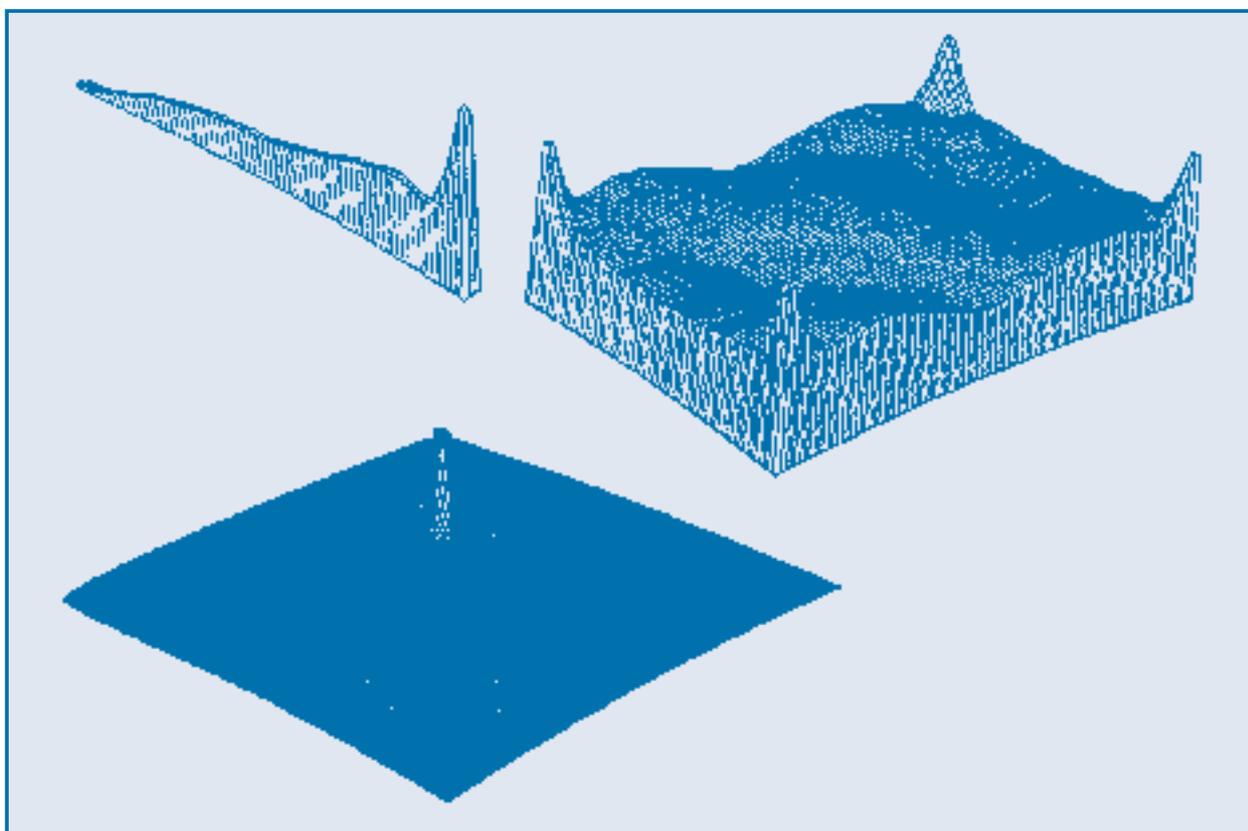
Este último procedimiento tiene la ventaja de poder controlar todos los factores que interviene en el proceso, siendo muy adecuado para caracterizar el reparto de agua del aspersor y poder establecer comparaciones entre aspersores; es el más utilizado en centros tecnológicos y de investigación.



Los aspersores existentes en el mercado se pueden agrupar en tres modelos básicos de reparto:

- **Modelo elíptico o rectangular:** se obtiene normalmente trabajando con una sola boquilla en el aspersor.
- **Modelo tipo “rosquilla”:** deriva generalmente del anterior, al disminuir la presión de trabajo.
- **Modelo triangular:** se obtiene principalmente cuando el aspersor trabaja con dos boquillas.

El mejor modelo es el triangular, ya que consigue mayores CUC para todos los marcos y presiones, y el peor es el tipo “rosquilla”.



Modelización del reparto de agua de un aspersor

REPERCUSIÓN DEL VOLUMEN DE RIEGO Y EL CUC EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS (T/22)

El conocimiento de la respuesta de los cultivos al régimen de riego es fundamental para la óptima utilización del agua según sus disponibilidades. La función de producción de la remolacha en relación al volumen de agua aplicada mediante riego es distinta según el coeficiente de uniformidad del sistema de riego utilizado.





De los estudios realizados sobre ciertos cultivos se extraen las siguientes conclusiones generales:

- a) Cuanto mayor es el valor del coeficiente de uniformidad, menor es la aportación de agua de riego necesaria para alcanzar una determinada producción. Esto pone claramente de manifiesto que un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.
- b) Cuanto más barata sea el agua el óptimo económico para el agricultor parece obtenerse aumentando la aplicación del agua con el riego para hacer frente a la falta de uniformidad. Esto implica una mayor percolación y lavado de fertilizantes y otros productos, lo que producirá una disminución de la producción del cultivo, además de una contaminación de los acuíferos receptores de esas aguas.



RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y MANEJO (T/23 a T/26) - (D/13)

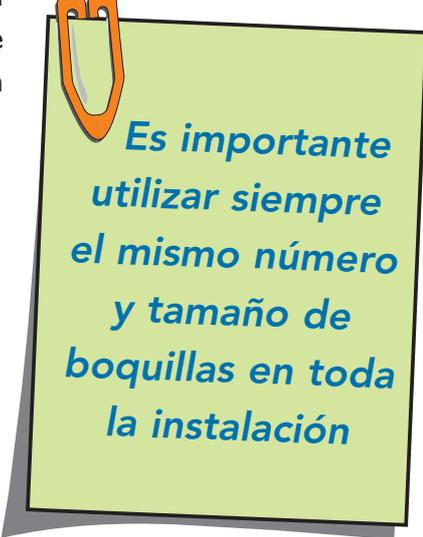
Como recomendaciones generales para el diseño y manejo de una instalación de riego con cobertura total de aspersores se pueden dar las siguientes:

- 1) Como norma general, cuanto menor es el marco de riego mayor es la uniformidad que suele conseguirse, pero esto tiene excepciones porque la forma del marco y el modelo de reparto también influyen. El marco más pequeño que se suele recomendar es el 12 x 12 y el más grande el 18 x 18. Para estos marcos la presión media en el ramal portaspersores debe estar entre 3 y 4 kg/cm².
- 2) Se consiguen mayores uniformidades con marcos cuadrados (15 x 15 y 18 x 18) que con los rectangulares equivalentes (12 x 18 y 15 x 21) 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 (Vaina Prolongadora).
- 3) Para sistemas de ramales móviles de aluminio se recomienda utilizar marcos de 12 x 15 ó 12 x 18 para no tener que mover demasiadas veces los tubos, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 kg/cm². No obstante, en el marco 12 x 18 pueden obtenerse también valores altos de uniformidad con una sola boquilla (4,4 mm.)
 - 4) Para sistemas fijos en superficie (cobertura aérea) se recomienda utilizar marcos de 12 x 15 en rectángulo o triángulo y 18 x 15 en triángulo, con dos boquillas en el aspersor (3,6 + 2,4 mm ó 4 + 2,4 mm) y una presión media de 3 y 3,5 kg/cm² respectivamente.
 - 5) Utilizar dos boquillas en el aspersor mejor que una, con vaina prolongadora (VP) en la boquilla grande para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s.
 - 6) En marcos rectangulares como el 12 x 18, si se utilizan aspersores de 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 ésta suele tener poca influencia si la boquilla grande lleva VP.
 - 7) La diferencia de presiones entre el primer y último aspersor de un mismo ramal no debe ser mayor que el 20% de la presión nominal (a 1/3 del ramal).
 - 8) Diseñar los sistemas con pluviometrías bajas (5-7 mm/h) para que, además de evitar problemas de encharcamiento y escorrentía, duren más las posturas de riego y se obtenga mejor uniformidad al compensarse, en parte, las distorsiones producidas por el viento.
 - 9) Los aspersores sectoriales deben trabajar con una sola boquilla ya que así consiguen un modelo de reparto más triangular, sin excesiva acumulación de agua en las proximidades del aspersor. La distribución de agua que produce el aspersor cuando regresa de forma rápida a su posición inicial, sustituye a la distribución producida por la boquilla pequeña. Colocar dos boquillas en aspersores sectoriales deteriora considerablemente la uniformidad de reparto porque la pluviometría en las proximidades del aspersor es excesiva.
 - 10) Tratar de evitar las presiones superiores a 4 kg./cm² ya que, aparte del mayor coste económico, produce mayor proporción de gota pequeña, que es más fácilmente arrastrada por el viento, lo que hace disminuir la uniformidad al aumentar la velocidad del viento.



Es importante utilizar siempre el mismo número y tamaño de boquillas en toda la instalación



- 11) Cuando se cambie algún aspersor hay que poner otro del mismo modelo.
- 12) Aprovechar al máximo el riego nocturno por los siguientes motivos: tener menores pérdidas por evaporación, coincidir normalmente con menores velocidades de viento y ser más barata la energía eléctrica. Este riego requiere, no obstante, un mínimo de automatización.
- 13) 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 debería exigirse una prueba de evaluación a la instalación para tener una idea de la uniformidad de reparto de agua que se consigue. No hay que olvidar que no siempre las instalaciones más baratas ni las más caras son las más convenientes.

1.2. RIEGO POR ASPERSIÓN CON SISTEMAS AUTOPROPULSADOS

(T/27) - (D/14 y D/15)

Existen en el mercado numerosos sistemas o máquinas de riego que poseen la característica de ser sistemas de aspersión que se desplazan automática y simultáneamente a la aplicación del riego. Con estos sistemas se consigue una mecanización y automatización del riego.

Existen dos tipos fundamentales de sistemas autopropulsados:

- **Alas de riego autodesplazables:** Basadas en un ala con desplazamiento propio por ruedas, con una estructura metálica en la cual se sitúan los emisores que realizan el riego. Su desplazamiento puede ser radial (pivote lateral, central y multicentro) o frontal (lateral de avance frontal y pivote lateral).

*Alas de riego
autodesplazables
tipo pivote*





- **Cañones de riego o enrolladores:** Basados en uno o varios emisores situados en una estructura metálica portante que se desplaza simultáneamente al riego al ser enrollada y recogida la manguera de alimentación en un tambor.



Cañón de riego, enrollador

Se describen a continuación los principales sistemas:

EL PIVOTE CENTRAL (T/28, T/29) - (D/16 a D/23)

Se trata de una tubería portaemisores suspendida sobre unas torres motrices, alineadas entre sí, que giran sincronizadamente alrededor de un centro pivotante, anclado sobre una plataforma de hormigón, por el cual recibe el agua y la energía eléctrica. En su desplazamiento, el pivote va describiendo un círculo y realizando el riego simultáneamente.

Está formado por los siguientes elementos:

1. **Unidad central:** Es una estructura de acero en forma de pirámide, anclada en una base de hormigón, que enlaza la tubería enterrada con la tubería del lateral por medio de un tubo vertical de alimentación que permite el giro del sistema gracias a una junta estanca y mecanizados de giro embutidos. En la unidad central se localiza el armario eléctrico, donde se encuentran todos los elementos de funcionamiento y control de la máquina, así como los automatismos y los diferentes dispositivos de seguridad. La alimentación de corriente eléctrica puede llegar por cables enterrados desde la caseta de bombeo o mediante generador colocado en la misma base de la unidad central.



Pivote central:
torre central



2. **El lateral de riego:** Se trata de una tubería de conducción portaemisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m. La longitud total del ala suele estar entre 100 y 800 m. Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruídos con materiales inalterables (aceros de calidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos varía de unas marcas a otras, pero debe ser fuerte y estanca, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados. Al final del pivote se suele disponer un tramo de tubería en voladizo, de longitud variable (6-30 m.) donde se instala el cañón final, en caso de llevarlo. La tubería portaemisores es simultaneamente tubería de conducción de agua y estructura portante del pivote.



Pivote central:
conducción portaemisores

3. **Las torres:** Son las unidades motrices del pivote. Su estructura triangular sustenta en su vértice superior el tramo de tubería correspondiente y está provista de ruedas motrices en ambos vértices inferiores. Un pequeño motorreductor eléctrico situado



Torre de un pivote central

en cada torre transmite el giro a las ruedas por medio de transmisiones tipo cardan. Encima de cada torre se encuentra una caja eléctrica donde se localizan los mecanismos de conexión a los circuitos de corriente y de maniobra, así como los mecanismos de alineamiento y seguridad.

4. **Sistema de alineamiento:** El alineamiento se realiza de modo automático mediante un sistema que permite avanzar a cada torre alternativamente cuando entre los dos tramos que convergen en la misma forman un ángulo mayor de 15-20'. El movimien-



Pivote central:
sistema de alineamiento por biela

to del pivote comienza por la torre final, produciéndose un avance de las demás torres en cadena, desde el extremo hacia el centro, que conllevan el desplazamiento de todo el ala de riego. En el mercado existen actualmente dos sistemas de alineamiento que son el de biela y el alineamiento por cable.

5. Sistema de seguridad: El pivote cuenta con un sistema de seguridad que detiene la máquina siempre que se produce un fallo en el alineamiento por cualquier circunstancia, como puede ser el atasco de una rueda, un obstáculo, etc.

6. Automatismos: La instalación de una serie de automatismos en las máquinas de riego tipo pivote permite un importante ahorro de mano de obra en las explotaciones. Los automatismos que se instalan con más frecuencia son:

- Arranque del pivote cuando se alcanza una presión determinada a la entrada del pivote.
- Parada del sistema por pérdida de presión.
- Parada del pivote en un lugar prefijado de la parcela.
- Apertura y cierre del cañón final cuando el pivote llega a puntos concretos.
- Apertura y cierre de un número determinado de emisores.
- Apertura y cierre de todos los emisores en el momento deseado.
- Inversión del sentido de la marcha con retardo.
- Parada de todo el sistema.
- Parada del bombeo que permite el avance sin regar.
- Riego en sentido contrario.
- Diferentes tipos de programaciones.



Cuadro de control eléctrico de automatismos



7. **Emisores:** Los diferentes tipos de emisores existentes en el mercado se pueden agrupar en las siguientes cuatro categorías:

- Aspersores de impacto de ángulo bajo.
- Toberas rotativas.
- Toberas pulverizadoras o sprays.
- Cañones o pistolas finales.



Diferentes tipos de emisores

Para alcanzar una buena uniformidad de distribución, se deben tener en cuenta el tipo de emisor, el espaciado entre sí a lo largo del lateral, el tamaño de las boquillas y la presión de funcionamiento.

En la actualidad se tiende al empleo de emisores de presión media. También es frecuente la utilización de cañas descendentes (drops) que aproximan el emisor al suelo tanto como se quiera.



Toberas rotativas con montaje tipo Drops, evitan mojar la estructura

Características del riego con pivote (T/30 a T/32)

El riego con pivote central se caracteriza porque la **pluviometría instantánea** crece desde el centro hasta el extremo ya que cada sector circular cuanto más alejado está del centro, mayor superficie tiene que regar en el mismo tiempo. Asimismo, debido a que la cantidad de agua a aplicar es la misma en todos los puntos, la pluviometría instantánea tiene que crecer, puesto que el tiempo de aplicación es menor a medida que nos alejamos del centro del pivote.

El **caudal** necesario a la entrada del pivote es función de:

- Necesidades de riego punta de la remolacha (**N**, mm/día o l/m² y día).
- Área regada por el pivote (**A**, ha).
- Horas del día que funciona el riego (**H**, horas).
- Eficiencia de aplicación del agua (**Ea**, tanto por ciento).



Emisores finales



siendo el caudal necesario Q_0 (l/min):

$$Q_0 \text{ (l/min)} = \frac{N \text{ (l/m}^2 \text{ y día)} \cdot 1000 \text{ (m}^2 \text{/ ha)} \cdot A \text{ (ha)}}{E_a \text{ (\%)} \cdot H \text{ (H/día)} \cdot 60 \text{ (min/h)}}$$

Un ejemplo: Un pivote de 40 has. sembrado de remolacha, se quiere regar en el mes de máximas necesidades, julio, con unas necesidades de 7 mm/día. Supuesta una eficiencia del 85% y un funcionamiento continuo y permanente, el caudal de entrada debe ser:

$$Q_0 = \frac{7 \cdot 10000 \cdot 40}{0,85 \cdot 24 \cdot 60} = 2.287,6 \text{ l/min} = 38,1 \text{ l/s}$$

La pluviometría en cada sector es constante y depende del diseño, cambiando para cada aplicación en función del tiempo de riego.

Una de las limitaciones del sistema de pivote es la pluviometría instantánea en el extremo del mismo, que debe ser menor que la capacidad de infiltración del suelo para que no se produzcan escorrentías.

La **pluviometría máxima en el extremo** se calcula por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{14.400}{\pi} \cdot \frac{Q_0}{R \cdot r_a}$$

siendo:

Q_0 = caudal en el centro del pivote.

R = radio del pivote en m.

r_a = radio mojado del emisor en m.

Es necesario comprobar que la **velocidad de infiltración** del suelo, que depende de la textura y de la pendiente del suelo, es mayor que la pluviometría máxima (ver triángulo de texturas con las velocidades de infiltración) y la **capacidad del almacenamiento de agua en la superficie**, que será menor cuanto mayor sea la pendiente del terreno. Algunos valores se indican en la tabla adjunta





Pendiente (%)	Capacidad de almacenamiento (mm. de lámina de agua)
0 - 1	12,7
1 - 3	7,6
3 - 5	2,5

Las dosis máximas de riego dependen del tipo de suelo y emisor. Valores orientativos de estas dosis máximas se indican en la tabla adjunta.

Familia de infiltración	Tipo de sistema	Almacenaje superficial (mm.)			
		0	2,5	7,6	12,7
0,3 Arcilloso	A	20	30	43	56
	B	13	20	33	
	C	5	13	23	
	D	<3	8	18	
	E	<3	<3	13	
0,5 Franco	A	51	66	84	
	B	25	36	51	
	C	10	18	30	
	D	<3	13	20	
	E	<3	8	18	
1,0 Arenoso	A	SL	SL	SL	
	B	107	122	SL	
	C	36	48	66	
	D	18	28	43	
	E	10	20	36	

- A = Sistema de alta presión. Pluviometría máxima de 25 mm/h.
 B = Sistema de media presión. Pluviometría máxima de 38 mm/h.
 C = Sistema de aspersores de baja presión. Pluviometría máxima de 64 mm/h.
 D = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 360° y pluviometría máxima de 89 mm/h.
 E = Sistema de toberas de baja presión con descarga en 180° y pluviometría máxima de 152 mm/h.
 SL = Sin Limitación. La pluviometría no limita la dosis.

Entre las **ventajas** que presenta el sistema de riego por pivote destacan:

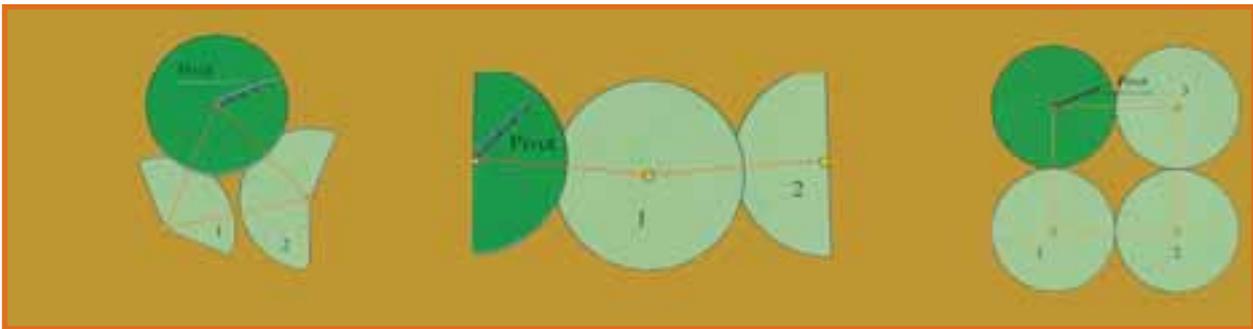
- Mejora de la uniformidad de riego, en función del diseño del pivote.
- Ahorro energético en cuanto a necesidades de energía de bombeo, al ser necesaria una menor presión en los emisores que puede alcanzar el 40% de ahorro en comparación con otros sistemas de aspersión que funcionan con presiones de 45 m.c.a. en los emisores.
- Automatización del sistema de riego y ajuste automático para el riego de esquinas.
- No necesita mano de obra.



PIVOTE MULTICENTRO (T/33) - (D/24 y D/25)

Se trata de un sistema que tiene la capacidad de trasladarse de forma autónoma de un centro o base a otro realizando el riego de parcelas de contorno irregular, o de varias parcelas, permitiendo el riego de varios cultivos en una rotación lógica, y alcanzándose un mayor aprovechamiento de la inversión inicial.

La longitud de los pivotes multicentro suele ser inferior a la de los fijos: 180-320 m. para aquellos que se trasladan varias veces en la misma campaña y 350-500 m. si el traslado se realiza una sólo vez por campaña.



Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote multicentro

Unidad central multicentro

La principal diferencia entre un pivote fijo y uno multicentro es la unidad central. En un pivote multicentro, la unidad central original consiste en una torre de aspecto similar a las demás torres del pivote pero reforzada, cuya tubería central sirve tanto de anclaje y eje de giro del equipo como de tubería de alimentación. Posee igualmente un motorreductor con dos reductores especiales que permiten a las ruedas realizar los movimientos de



Pivote multicentro: torre principal

traslado de un centro a otro y funcionar como la unidad central del pivote. En este último caso, las ruedas se colocan perpendiculares al eje, quedando sueltas las transmisiones cardan permitiendo el giro libre en función del movimiento inducido por las demás torres. Existen otros dos sistemas de pivote multicentro con dos pares de ruedas: uno de ellos debe ser remolcado con un tractor para cambiar de base y en el otro sistema, cada par de ruedas es diferente, unas ruedas sirven para el giro y las otras dos para el traslado de un centro a otro, requiriendo además un sistema de amarre con cadenas por disponer de la toma de alimentación de agua exterior a la base.





EL LATERAL DE AVANCE FRONTAL O RAMPA LATERAL (T/34 A T/36) - (D/26)

Se trata de una tubería portaemisores dividida en distintos tramos apoyados sobre torres automotrices, similar a la descrita para el pivote central, que se desplaza en dirección perpendicular a su eje realizando simultáneamente el riego.

En este sistema la pluviometría a lo largo del lateral permanece constante, evitándose los problemas de elevada pluviometría que existen en el extremo del pivote central, al realizarse el movimiento simultáneo de todas las torres. Se adapta, además, a parcelas rectangulares, con un aprovechamiento óptimo de la superficie de riego.

La toma de agua se puede realizar de dos formas: de un canal a lo largo de todo el recorrido, necesitando una bomba en la cabeza del lateral que aspire el agua y la impulse para su reparto por la tubería portaemisores, o mediante una manguera, de entre 100 y 300 m., conectada a un hidrante de la tubería general. Ésta segunda es la más utilizada.

Para el suministro eléctrico de la rampa lateral es posible la instalación de un grupo generador que proporcione la energía eléctrica necesaria para el avance de las ruedas y el alineamiento de los tramos entre torres.

La unidad central de la rampa lateral puede ser de 2 o 4 ruedas. En ella se encuentra el sistema de alineamiento, que puede ser de varios tipos, siendo los más comunes el cable enterrado con guías situadas en una torre central, el cable tendido a 50 cm. del suelo a lo largo del sistema de alimentación de agua con dos palpadores unidos al carro y el sistema de guía por surco.

La uniformidad de aplicación de agua depende del alineamiento y velocidad de avance de la rampa, sobre todo tratándose de sistemas que utilizan baja presión y alta pluviometría.



Rampa lateral de avance frontal



El **caudal** de entrada en el ala de riego se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{N \cdot I \cdot a \cdot L}{t1 \cdot Ea} \cdot 1,16 \cdot 10^{-5}$$

siendo:

Q = caudal de entrada a sistema, en l/s.

N = necesidades punta del cultivo, en mm/día ó l/m²/día.

I = intervalo entre riegos, en días.

a = anchura de la parcela o longitud del lateral, en m.

L = longitud de la parcela, en m.

$t1$ = tiempo de funcionamiento del equipo para dar un riego, en días.

Ea = eficiencia de aplicación, en tanto por uno.

La **pluviometría media** en este tipo de sistemas viene dada por:

$$Pm = (\text{mm/h ó l/m}^2/\text{h}) = 3.600 \cdot Q (\text{l/s}) / (a \cdot 2r)$$

siendo:

Q = caudal de entrada.

a = anchura de la parcela.

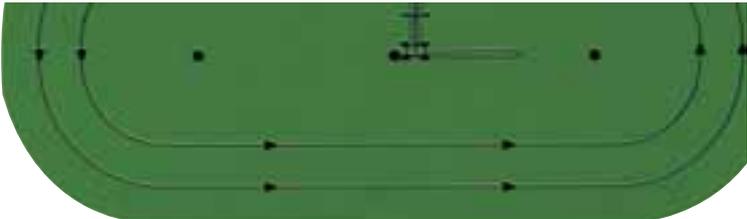
r = radio mojado de los emisores.

PIVOTE LATERAL (T/37) - (D/27 A D/33)

Es una máquina de riego en la que se conjugan las ventajas de los modelos de pivote descritos anteriormente (central, multicentro y rampa lateral) con el fin de poder adaptarse con una misma máquina a la estructura parcelaria de las explotaciones y realizar el riego de forma automática, tanto en avance frontal como girando alrededor de un punto fijo, sin modificar la configuración ni la estructura del equipo. Para ello el pivote lateral dispone de una unidad central específica.



Ejemplo de diferentes áreas regadas mediante un pivote lateral multidireccional



Área en forma de hipódromo regada por un pivote lateral



La unidad central del pivote lateral posee cuatro ruedas motrices con un robusto bastidor sobre el que va anclada una estructura piramidal. Esta estructura abraza el tubo de conducción vertical que se acopla por su extremo superior al primer tramo y por su extremo inferior se engancha a la manguera de alimentación. En el bastidor van acoplados los motores-reductores, los reductores, el armario de control y maniobras y el sistema de alineamiento, además de un conjunto de lastres que aumentan la capacidad de tracción del equipo.



Torre central de un pivote lateral multidireccional

Las maniobras programadas en el armario de control se traducen en órdenes de funcionamiento de los tramos a través del sistema de detectores situado en la parte superior de la estructura piramidal.

La automatización de este tipo de pivotes es máxima, uniendo a los descritos para el pivote central otros específicos, pudiendo llegar a tener un control total de la instalación con un ordenador personal portátil desde cualquier lugar donde se encuentre.

Operación de un cambio de manguera en un pivote lateral



Sistema de alineamiento por surco en un pivote lateral multidireccional





Giro de la torre para cambio de dirección en un pivote lateral multidireccional



Detalle del sistema electromagnético para detección de final de trayecto en un pivote lateral multidireccional

LOS CAÑONES DE RIEGO

(T/138, T/139) - (D/34 A D/36)

Se trata de aspersores de gran tamaño (cañones de riego o enrolladores) que trabajan con alta presión y mojan gran superficie, con desplazamiento simultaneo al riego mediante el arrastre del cañón por enrollamiento de la propia manguera de abastecimiento (enrollador) o por arrastre con ayuda de un cable con un extremo unido al cañón y otro fijo en el borde de la parcela (cañón viajero).

Este sistema de riego suele desplazarse a una velocidad entre 10 y 50 m/h., siendo la pluviometría inversamente proporcional a la velocidad de avance.

El sistema de avance del enrollador se basa en que el cañón está unido a una manguera flexible que se enrolla en un tambor mediante un sistema de turbina o fuelle hidráulico, que apro-





Cañón enrollador

sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, etc.) respecto a la situación óptima.

Este sistema presenta problemas en suelos de textura fina y estructura débil, debido al efecto de las gotas de gran tamaño, sobre todo cuando el riego se realiza sobre suelo desnudo. Presenta la ventaja de una fácil automatización, siendo necesaria la mano de obra sólo para el cambio y la puesta en marcha del sistema.

vecha la propia presión del agua para el enrollamiento de la manguera. La manguera, el tambor y el cañón se montan en un carro que es movido por un tractor en cada cambio de postura.

Estos sistemas requieren altas presiones de funcionamiento, oscilando entre 4 y 10 bares (400 - 1.000 KPa.) de presión.

Los cañones viajeros realizan su movimiento gracias al enrollamiento de un cable por el tambor, estando el otro extremo del cable anclado en el borde de la parcela.

El aspersor de gran tamaño realiza el riego en sectores circulares cuyo ángulo de giro oscila entre 200 y 220°.

La uniformidad de distribución depende de la acción negativa del viento, la variación de la velocidad de avance, de las características del aspersor y de

Cuadro de control de un cañón



Una variante del mismo es el **ala portaemisores** sobre carro en la cual se sustituye el cañón por una estructura lineal, perpendicular al sentido de avance, sobre la que se emplazan los emisores y que se desplaza igual que el cañón. Estas alas trabajan a mucha menos presión (2-2,5 kg/cm²) mediante el uso de toberas o difusores, con lo que se obtiene una mayor uniformidad y ahorro de energía.



Cañón con ala portaemisores





1.3. RIEGO POR GOTEO (T/40) - (D/37)

El riego por goteo es un tipo de riego localizado de alta frecuencia mediante el cual se distribuye el agua a la zona radicular de las plantas por medio de unos emisores especiales llamados goteros distribuidos a lo largo de microtuberías de material flexible. Al humedecer sólo el volumen de suelo donde se localizan las raíces, la frecuencia de riego debe aumentar para satisfacer totalmente las necesidades de riego del cultivo.



Sistema enrollador de tubería para riego por goteo

CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO POR GOTEO (T/41) - (D/38 Y D/39)

Menores pérdidas por evapotranspiración. Debido a que se moja sólo una pequeña porción de la superficie del suelo, las pérdidas por evaporación son menores. Esta reducción de la evaporación directa se compensa en parte por un aumento de la transpiración del cultivo debido a la sequedad del follaje y consiguiente aumento de la temperatura.

Aumento de la concentración de raíces. El sistema radicular de la planta se concentra en el volumen de suelo humedecido sin provocar una disminución de la producción.



Formación del bulbo húmedo. Debajo de cada emisor el agua se distribuye por el suelo horizontal y verticalmente ocupando un volumen con forma de bulbo. Este bulbo adoptará una forma alargada verticalmente en el caso de suelos arenosos por la atracción que sobre el agua ejerce la fuerza de la gravedad, y será alargado horizontalmente en los suelos arcillosos debido a una mayor movilidad horizontal del agua por capilaridad. A igual volumen de agua descargada por el gotero, el tamaño del bulbo húmedo también va a depender de la textura debido a las diferentes capacidades de retención de agua por cada tipo de textura.

Riego por goteo en remolacha





Mayor aireación del suelo. Debido a que no se humedece la totalidad del suelo, el cultivo no sufre problemas de saturación y asfixia radicular.

Salinidad. En el riego por goteo, la humedad permanece alta dentro del bulbo mientras el nivel de salinidad se mantiene bajo. Este hecho permite el empleo de aguas con mayor concentración de sal que con otros métodos de riego. No obstante, la concentración de sales va aumentando hacia la periferia del bulbo, llegando a formarse una barrera para el desarrollo de las raíces. Este proceso se manifiesta en la superficie del suelo en forma de una corona blanquecina de sales.



Estación de filtrado en una instalación de riego por goteo

Fertilización. En el riego por goteo, el sistema radicular se localiza casi en su totalidad dentro del bulbo húmedo, por lo que para hacer llegar los compuestos fertilizantes a la planta lo más indicado es hacerlo a través del propio sistema de riego. Aplicando los abonos disueltos en el agua de riego conseguimos localizar el fertilizante dentro del bulbo húmedo.

COMPONENTES DEL RIEGO POR GOTEO (T/42) - (D/40)

Los componentes de una instalación de riego por goteo son los siguientes:

- Estación de bombeo.
- Cabezal de riego:
 - Sistema de tratamiento del agua.
 - Filtros de arena y de malla.
 - Sistema de incorporación de fertilizantes.
 - Contadores volumétricos.
 - Reguladores de presión.
- Red de distribución: tuberías de transporte y distribución.
- Emisores: goteros, rociadores, microaspersores, emisores de manguito, etc.
- Dispositivos de control: válvulas reguladoras.



Conductos terminales de distribución del agua en riego por goteo



VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA (T/43 Y T/44) - (D/41)

Ventajas:

- Ahorro de agua respecto a otros sistemas de riego debido a que se humedece sólo una pequeña porción de la superficie del suelo. Con ello se evita también la proliferación de malas hierbas que competirían con el cultivo por la humedad del suelo.
- Facilidad de dosificación, por tratarse de un riego individualizado planta por planta.
- El agua de riego no transporta semillas de malas hierbas gracias al filtrado casi perfecto.
- Permite la aplicación localizada de abonos disueltos en el agua de riego.



Detalle del funcionamiento de un gotero

Inconvenientes:

- Elevado coste de instalación.
- Manejo complicado, sobre todo en el momento de instalación y retirada.
- La densa red de tuberías supone un gran obstáculo para las labores de cultivo.
- La calidad del agua debe ser buena, pues no permite el lavado de sales a capas profundas.
- Las aguas calizas provocan incrustaciones que deben ser eliminadas regularmente con ácidos.
- Necesita filtrar el agua en varias etapas para evitar la obstrucción de los emisores.

En los ensayos de campo realizados por AIMCRA se ha constatado que el ahorro en energía y en volumen de agua aplicada no compensa el mayor coste del sistema ni las dificultades en el manejo.





1.4. COSTES DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO (T/45, T/46) - (D/42)

En este apartado se expone un breve estudio comparativo de costes entre los cinco sistemas de riego más utilizados en las explotaciones remolacheras: sistema de cobertura total superficial, de aluminio, polietileno (PE) y de PVC, sistema de pivote central (círculo completo y sectorial), pivote multicentro y pivote lateral (hipódromo exterior e hipódromo interior). Para realizarlo se han consultado varias casas comerciales. En ningún caso se incluye el IVA.

Las condiciones comunes de partida para todos los sistemas son las siguientes:

- Parcela rectangular de 600 x 400 m. (24 ha.).
- Topografía prácticamente llana.
- Suelos de textura media sin problemas de drenaje.
- Extracción del agua de una perforación de 200 m. de profundidad, con el nivel dinámico a 70 m. y un caudal instantáneo de 25 l/s.



Tabla n.º 2: Costes orientativos de las distintas instalaciones de riego por aspersión en función de las hectáreas regadas

Tipo de instalación	Precio orientativo
Cobertura de PE con aspersor convencional (24 ha.)	250.000 - 300.000 ptas./ha.
Cobertura total de aluminio (24 ha.)	370.000 - 450.000 ptas./ha.
Cobertura total de PVC (24 ha.)	340.000 - 380.000 ptas./ha.
Pivote central a círculo completo (13,8 ha.)	470.000 - 530.000 ptas./ha.
Pivote central sectorial (18,2 ha.)	440.000 - 490.000 ptas./ha.
Pivote multicentro (21,6 ha.)	340.000 - 390.000 ptas./ha.
Pivote lateral parcela completa (24 ha.)	375.000 - 440.000 ptas./ha.
Pivote lateral hipódromo exterior (21,7 ha.)	365.000 - 430.000 ptas./ha.



1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMCRA: *El riego de la remolacha en Castilla y León*, Ed. Caja Duero, 2000, p. 190

AIMCRA: Revistas n.º 44 (marzo 95) y n.º 49 (enero 96).

FUENTES YAGÜE, J.L.; CRUZ ROCHE, J.: *Curso elemental de riego*, Ed. MAPA, Madrid, 1990, p. 237.

GÓMEZ POMPA, P.: *Riegos a presión, aspersión y goteo*, Ed. AEDOS, 1988, p. 332.

MONTERO, J.; ORTEGA, J.F.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.; VALIENTE, M. y TARJUELO, J.M.: *El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León*, capítulo 2: “Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión”, coordinado por AIMCRA, Ed. Caja Duero, 2000.

SAYALERO, L.M.: *El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León*, capítulo 3: “Nuevos sistemas de riego por aspersión”, coordinado por AIMCRA, Ed. Caja Duero, 2000.

TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, 1995, p. 491.

