

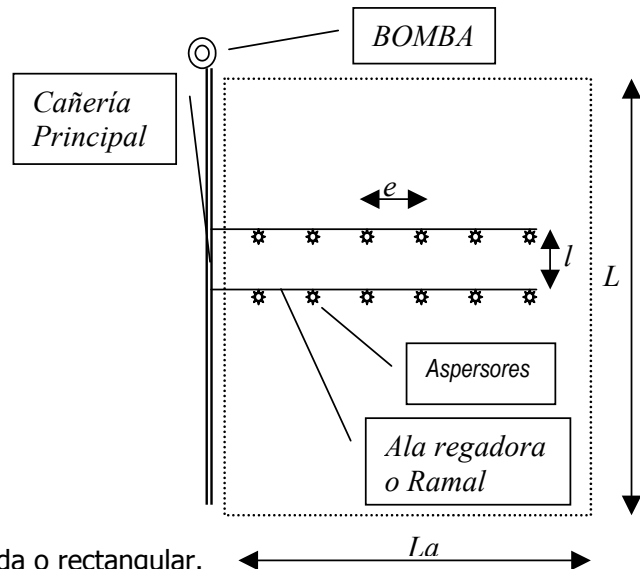
## GUÍA DEL TRABAJO PRACTICO N° 12

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION

Desarrollar basándose en los conceptos definidos para riego por aspersión el diseño hidráulico de un sistema de riego para una parcela que tiene las siguientes características:

Esquema geográfico de la parcela:

- Superficie a regar  $S = L \times L_a$
- Dosis de riego:  $d_r$  [mm] [P N° 3]
- Velocidad media del viento:  $V$  [km/h]
- Textura del suelo
- Cultivo: algodón
- Turnado de riego:  $TR$  15 [días]
- Eficiencia de la bomba:  $E_b$
- Altura de aspiración:  $h_1$  [m]
- Disposición de los aspersores: cuadrada o rectangular.
- Evapotranspiración máxima diaria  $EPT_d$  [mm/día]
- Tipo de abastecimiento: bomba que toma el agua de un canal e nivel constante.
- Diferencia de nivel entre la bomba y el aspersor más elevado:  $h_2$  [m]



Las fases que comprenden la preparación del proyecto de riego por aspersión son:

- 1) Inventariar los recursos disponibles y las condiciones reinantes.
- 2) Disposición más apropiada del sistema.
- 3) Proyecto hidráulico.

A) Inventarios de los recursos y las condiciones:

Entre las condiciones dominantes y que no pueden alterarse fácilmente figuran:

- a) La extensión, forma y topografía del terreno a que se destina el sistema de riego.

- b) La abundancia y regularidad del abastecimiento de agua.
- c) El clima, que es un factor primordial en la determinación de la cantidad de agua que consume un cultivo.
- d) Las propiedades físicas del suelo, de las que dependen en gran medida el índice de infiltración del agua en el suelo y la capacidad de retención de agua en éste.
- e) El costo y la disponibilidad de energía eléctrica y de combustible para el funcionamiento de los motores de combustión.

#### B) Disposición del sistema:

Con gran frecuencia la extensión y la forma del terreno y la localización de la fuente de suministro de agua son los factores que rigen la disposición de un sistema de riego por aspersión.

Los principios que han de tenerse en cuenta al proyectar la disposición del sistema:

b.1) Siempre que los demás factores o condiciones lo permiten:

b.1.1) Las tuberías principales deberán situarse en la dirección de la pendiente principal.

b.1.2.) Los ramales laterales deberán colocarse formando ángulo recto con los vientos dominantes.

b.2) Deberán evitarse los ramales laterales de aspersión largos, que impliquen una distribución no uniforme del agua y tubos de mayor diámetro, lo que dificulta el manejo.

#### C) Proyecto hidráulico

1) Dosis bruta  $d_b$  [mm]

Se calcula las pérdidas de agua que se producen durante el riego por distribución  $E_f$  [%] y en la parcela por aplicación  $E_a$  [%]; englobadas en el total de pérdidas  $E_s = E_f \times E_a$

Las pérdidas por distribución en riego por aspersión suelen ser prácticamente despreciables, no superando el 5 %, o sea  $E_f$  entre el 95 y el 100 %.

Las pérdidas por aplicación se estima según el **cuadro N°1**, en función de la  $d_r$  [mm], evapotranspiración máxima diaria  $EPT_d$  [mm/día] y la velocidad media del viento  $V$  [km/h].

En función de ello se calcula la dosis bruta como:

$$d_b = \frac{d_r}{(E_f \times E_a)} \quad [\text{mm}]$$

2) Precipitación máxima  $P_{m\acute{a}x}$  [mm/h]

Corresponde a la precipitación de mayor intensidad que el equipo de aspersión puede arrojar sin que se supere durante el riego la velocidad de infiltración del suelo con objeto de evitar encharcamiento y en especial, la escorrentía.

Se estima según el **Cuadro N°2**, en función de las distintas texturas de suelos, la pendiente del terreno y la cubierta vegetal. Los valores son estimativos y se tienen que hallar con ensayos de campaña.

3) Duración de cada posición  $T$  [horas]

Es el tiempo que los ramales laterales deben permanecer en una determinada posición, arrojando la precipitación de diseño, para aplicar la dosis de riego, para luego ser trasladados a la siguiente posición:

$$T_{m\acute{i}n} = \frac{d_b}{P_{m\acute{a}x}} \quad [\text{horas}]$$

Se redondea al valor entero por exceso, por lo que la precipitación máxima adoptada es algo menor y se recalcula:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{d_b}{T_{m\acute{i}n}} \quad \text{adoptado [mm/h]}$$

Entre una y otra posición de riego, se debe dejar un tiempo de cambio de los ramales, este tiempo es variable entre 1 y 2 horas; por lo que el tiempo total de cada posición será la suma del tiempo mínimo más el tiempo de cambio:

$$T_{total} = T_{m\acute{i}n} + T_{cambio}$$

4) Número de ramales laterales  $N^{\circ}_{ramales}$  [ramales]

Está condicionado por:

- a) La frecuencia de riego, que expresa el número máximo de días que pueden transcurrir entre dos riegos consecutivos  $TR$ .

b) El número de posiciones que han de ocupar los ramales para regar toda la parcela.

Por lo que el número máximo de posiciones de cada ramal es:

$$N^{\circ}_{m\acute{a}x} = \frac{TR}{T_{total}} \quad [N^{\circ} \text{ entero por defecto}]$$

Donde:

$N^{\circ}_{m\acute{a}x}$  : es el número máximo de posiciones por ramal

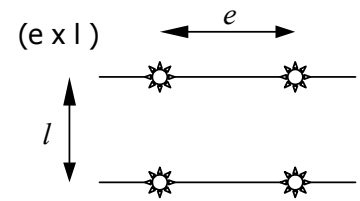
Además, es necesario conocer la separación entre aspersores de un mismo ramal "e" y la distancia entre posiciones sucesivas de los ramales "l" y para ello conviene señalar:

- a) Los aspersores pueden disponerse en triángulos, en cuadrado o en rectángulo.
- b) El espaciamiento entre aspersores está condicionado por la longitud standard de los caños, los más usuales son de 6m.
- c) La gama de espaciamiento va de 6 × 6 m para aspersores pequeños hasta de 60 × 60 m para aspersores de gran porte.
- d) El escalamiento máximo está en función del alcance de los aspersores.
- e) En general un espaciamiento pequeño da lugar a un riego más uniforme, pero un equipo más caro y un espaciamiento grande da un riego menos uniforme, pero más barato.

La disposición en triángulo es la más ventajosa comparada con la cuadrada o la rectangular, desde el punto de vista de distribución de la lluvia, pero las dificultades de colocación hace que se reserve ésta para instalaciones fijas, en donde no se trasladan los tubos.

La disposición en rectángulo es usada con frecuencia cuando tiene preponderancia el viento y además tiene menos movimientos de ramales que la disposición en cuadrado.

Para el práctico en análisis, se adoptará en cuadrado ó en rectángulo, con las dimensiones más usuales que se aconsejan:

<u>Cuadrado</u>	(e x l)	<u>Rectángulo</u>
6 * 6 m		6 * 12 m (e x l)
12 * 12 m		12 * 18 m
18 * 18 m		18 * 24 m
24 * 24 m		24 * 30 m
30 * 30 m		30 * 36 m

Adoptada las dimensiones e y l, se calcula el N° total de posiciones para la parcela es:

$$N^{\circ}_{total} = L/l$$

donde:

$N^{\circ}_{total}$ : Es el número total posiciones del ramal.

Se debe acondicionar, de tal manera que se adopta un  $N^{\circ}$  entero con la especificación de la distancia a los extremos de la parcela.

El número de ramales se acondiciona con la relación entre el  $N^{\circ}$  máx. de posiciones por ramal y el  $N^{\circ}$  total de posiciones, de tal manera de cubrir la superficie total de la parcela durante el TR.

$$N^{\circ}_{ramales} = N^{\circ}_{total} / N^{\circ}_{max}$$

Número de Aspersores

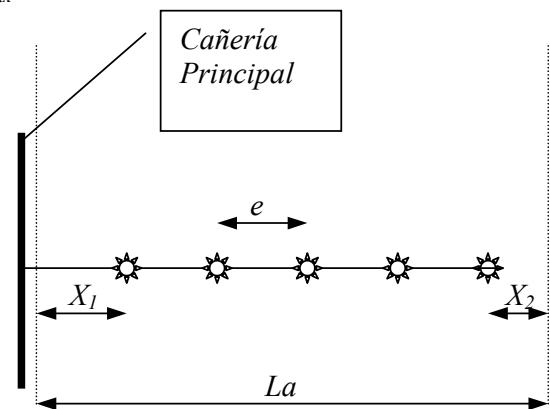
$$L_a = 2 \times X + (N^{\circ}_{asp} - 1) \times e$$

$N^{\circ}_{asp}$  = número de aspersores

$$X = X_1 + X_2$$

$X$  = Distancia del aspersor al límite de la parcela.

$L_a$  = Ancho de la parcela.



Por ramal el número de aspersores es:

$$N^{\circ}_{asp} = \frac{(L_a - 2 \times X)}{e} + 1$$

Se toma como variable de ajuste, redondeando los valores y se acondiciona el valor de  $X$

$$N^{\circ}_{asp} \text{ Totales} = N^{\circ}_{asp} \times N^{\circ}_{ramales}$$

5) Caudal de cada aspersor y caudal total  $q, Q$   $[m^3/h]$

A cada aspersor le corresponde atender el riego de una superficie teórica de  $e \times l$ , por lo que el caudal que debe arrojar es:

$$q = P_{máx} \times e \times l \quad [m^3/h]$$

El caudal requerido por la instalación es:

$$Q = q \times N_{asp}^{o} \text{ Totales} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Lo que representa el caudal que debe elevar el equipo de bombeo.

### 6) Elección del aspersor

El tipo de aspersor se selecciona de entre los modelos comerciales disponibles, tal como el aportado por el **cuadro n° 3** a modo de ejemplo. Cada aspersor tiene una o dos boquillas de diámetro  $d$ , un caudal  $q$ , un radio mojado  $R$ , según una presión de funcionamiento  $P_a$  y para tres grupos:

- a) De baja y media presión y una boquilla.
- b) De baja y media presión y dos boquillas.
- c) De alta presión de 2 boquillas.

El aspersor es seleccionado de acuerdo al caudal  $q$  que se debe arrojar y de los posibles modelos que se adecuan a ello, se adopta aquel que se encuentra en la zona media de funcionamiento en cuanto a su presión media de funcionamiento, ya que el mismo puede empeorar conforme las condiciones se aproximan a los valores extremos de cada modelo, haciendo que los tamaños y distribución espacial de las gotas no resulten los adecuados.

Según el  $q$  calculado se deben interpolar los valores de  $P_a$  y  $R$ .

### 7) Comprobación del esparcimiento

Puede ocurrir que las separaciones adoptadas sean inadecuadas si el  $R$  de mojado no cumple con las siguientes condiciones:

$$\text{a) } e < R \qquad \text{b) } l < 1.3R \rightarrow CU = 89\%$$

Dichos valores son variables y se fijan según el coeficiente que expresa la uniformidad con que se reparte la pluviometría en una determinada distribución y separación de aspersores.

$$Cu = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum (X_i - \bar{X})}{n \times \bar{X}} \right) \quad [\%]$$

Donde:  $Cu$  = Coeficiente de uniformidad de Christiansen en [%]

$X_i$  = Altura de precipitación en el  $i$ -ésimo pluviómetro.

$\sum (X_i - \bar{X})$  = Sumatoria de los desvíos absolutos de los  $X_i$  con relación a  $\bar{X}$

$\bar{X}$  = Altura de precipitación media de los pluviómetros.

$n$  = N° mediciones.

Disposición:

<u>Cuadrada</u>	<u>Rectangular</u>	<u>Triangular</u>
$e = 1$	$e = 0,5 - 0,83 l$	$e = 1.15 l$
$R = l / 1,41$	$R = l / 1,2 - 2$	$R = l / 1,5$
$R = e / 1,41$	$R = e$	$R = e / 1,73$

El Cu se define según la relación l / R:

<u>l / R</u>	<u>Cuadrada o Rectangular</u>	<u>Triangular</u>
1,0	99 %	99%
1,1	96 %	99%
1,2	93 %	98 %
1,3	89 %	98 %
1,4	86 %	98 %
1,5	82 %	96 %

Si no se llegaran a cumplir las condiciones a) y b) se deben recalcular a partir del punto 4) hasta que dichas condiciones se cumplan.

Como una regla general podría decirse que cuanto mayor es el sistema radicular del cultivo a implantar, menor son los requerimientos de uniformidad, puesto que la mayor potencia de sus raíces puede, en cierta medida, reducir los efectos desfavorables de un riesgo defectuoso.

Distancia entre plantas [m]	Zona de déficit Inferior al %	Zona de exceso inferior al %	Coefficiente de Christiensen [%]
0 – 2	10	10	85
2 – 4	15	15	80
4 – 6	20	20	75
> 6	25	25	65

8) Diseño de los ramales laterales

Para que cada aspersor entregue el mismo caudal debe ser igual la presión de trabajo en la boquilla del aspersor, hecho que no se da por las pérdidas de carga por rozamiento y accesorios a lo largo del ramal y acondicionado por la variación de la cota topográfica de cada aspersor.

El límite que asegura una uniformidad de riego se da cuando la diferencia de presión entre dos aspersores cualesquiera de un ramal no supere el 20 de la presión de trabajo  $P_a$  del aspersor seleccionado.

Se debe seleccionar pues, un diámetro de tubería de modo que las pérdidas de carga  $P_f$  no superen el 20% de  $P_a$ , y se calculan según el **Cuadro N° 4**, que determina las mismas por cada 100 m de cañerías de acuerdo al caudal del ramal  $Q_{ramal}$  [m<sup>3</sup>/h] y el diámetro de la tubería  $\phi$  [mm].

Si no coincide el  $Q_{ramal}$  se debe interpolar y obtener las pérdidas por rozamiento como:

$$J_{Ramal} = \frac{j}{100} \times L_{Ramal}$$

Donde:  $J_{Ramal}$  = Pérdida de carga del ramal [m]  
 $j$  = Pérdida de carga unitaria según el material [m/100m]  
 $L_{rama}$  = Longitud Total del Ramal [m]

Recordar: 10 m = 1 Kg / cm<sup>2</sup> = 0,96805 atmósferas.

A la pérdida de carga del ramal se debe afectar por un coeficiente  $F$  de Christiansen, que tiene en cuenta las salidas de agua que tiene la cañería en toda su longitud.

Dicho coeficiente se obtiene en el **cuadro N° 5**, según el  $N^{\circ}_{asp}$  de cada ramal, y la distancia  $e$  entre aspersores – por lo general, múltiplo de 6 m -, y la distancia  $X_1$  entre la cañería principal y el primer aspersor. Si  $X_1 \neq e$  ó  $e/2$  se debe interpolar, por lo que  $P_f$  es:

$$P_f = J \times F \quad [\text{m ó kg / cm}^2]$$

Se debe verificar que sea menor que el 20% de  $P_a$ , sino se debe recalcular con un  $\phi$  mayor

### 9) Diámetro de la cañería principal

Se procede de la misma manera que para el ramal lateral, sin afectarlo por el coeficiente  $F$ , adoptando el  $\phi$  que menos pérdidas produzca:

$$J_{CPrincipa} = \frac{j}{100} \times L_{CPrincipa} \quad [\text{m}]$$

El caudal con que se debe entrar al **cuadro N° 4** es el caudal que circula por cada tramo de la cañería principal. Por ejemplo, si existen 2 ramales, un tramo con el caudal  $Q_{CPrincipa} = 2 \times Q_{Ramal}$  y otro tramo  $Q_{CPrincipa} = Q_{Ramal}$



10) Altura total de trabajo de la bomba  $H$  [m]

La altura manométrica total de trabajo de la bomba es igual a:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \text{ [m]}$$

Donde:  $h_1$  = Desnivel geométrico entre el nivel del agua y el eje de la bomba (altura de aspiración).

$h_2$  = Desnivel topográfico entre el eje de la bomba y la altura del aspersor ubicado en el punto más alto de la parcela.

$h_3$  = Presión en boquilla del aspersor más lejano

$h_3 = P_a - \frac{P_f}{4}$  Representa la presión media de funcionamiento de los aspersores.

$h_4$  = Pérdidas de carga de los ramales laterales =  $P_f \times N^{\circ}_{\text{Ramales}}$

$h_5$  = Pérdidas de carga en cañería principal.

11) Potencia de la bomba

La potencia de la bomba viene expresada por:

$$P_b = \frac{H(m) \times Q(m^3 / \text{seg})}{270 \times E_b} \text{ [HP Hidráulicos]}$$

Donde:  $E_b$  = es el rendimiento de la bomba.

También puede expresarse como:

$$P_b = \frac{H(m) \times Q(l/s)}{75 \times E_b} \text{ [C.V.]}$$

Nota: Los Cuadros N° 2, N° 3 y N° 4, que se utilizaran para cada caso, corresponderán a las marcas o fabricantes elegidos y al material que se considere en cada caso, para ello debe recurrirse a los comercios especializadas y realizar la consulta correspondiente.

## ANEXO CUADROS

**CUADRO N° 1:** Eficiencia de aplicación en riego por aspersión convencional [%]

Altura de agua aplicada [mm]	Evaporación máxima de referencia [mm / día]		
	< 5	5 a 7.5	> 7.5
Velocidad media del viento < 6,5 [km/h]			
25	68	65	62
50	70	68	65
100	75	70	68
150	80	75	70
Velocidad media del viento de 6,5 a 16 [km/h]			
25	65	62	60
50	68	65	62
100	70	68	65
150	75	70	68
Velocidad media del viento > 16 [km/h]			
25	62	60	53
50	65	62	60
100	68	65	62
150	70	68	65

Fuente: Mc Culloch y otros (1967)

**CUADRO N° 2:** Intensidades máxima de precipitación para condiciones medias de suelo, pendientes y vegetación (SCS – USA. 1960) [mm/hora]

<b>Pendiente</b>	Pendiente de 0 á 5 %		Pendiente de 5 á 8 %		Pendiente de 8 á 12 %		Pendiente > 12%	
	<b>Cobertura</b> Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal	Con cubierta vegetal	Sin cubierta vegetal
Arenoso grueso con textura uniforme hasta 1,80 m	50	50	50	40	40	25	25	12,5
Arenoso grueso sobre subsuelo compacto.	45	40	30	25	25	20	20	10
Franco arenoso fino con textura uniforme hasta 1,80 m	45	25	30	20	25	15	20	10
Franco arenoso fino sobre subsuelo compacto	30	20	25	12,5	20	10	12,5	10
Franco limoso con textura uniforme hasta 1,80 m.	25	12,5	20	10	15	7,5	10	5
Franco limoso sobre subsuelo compacto.	15	8	12,5	6	10	4	7,5	2,5
Franco arcilloso o arcilloso	5	4	4	2,5	3	2	2,5	1,5

### **DATOS DEL TRABAJO PRACTICO - A MODO DE EJEMPLO**

Realizar el diseño del sistema de riego por aspersión en la parcela y bajo las condiciones que se enuncian a continuación:

Velocidad media del viento: 7.3 Km / h

Superficie a regar: 350 m x 500 m

Eficiencia de la bomba: 0.78

$H_1 = 1,10$  m

$H_2 = 1,30$  m

Pendiente lado mayor 0,006 m/m,

lado menor 0,002 m/m

Cultivos: soja

Suelo: Franco homogéneo

Dirección del viento: perpendicular al lado menor

Sistema: semifijo