

A photograph of an irrigation system in a field at sunset. The sun is low on the horizon, creating a warm, golden glow. Several sprinkler heads are visible, with water spraying out in arcs that catch the light. The field is dark, and the overall scene is peaceful and agricultural.

DISEÑO Y OPERACIÓN DE EQUIPOS DE ASPERSIÓN











Características

- Permite aplicar el agua sola o con agroquímicos en forma asperjada (lluvia)
- El agua es conducida por cañerías a presión, impulsada por equipos de bombeo.
- Eficiencia entre 60 y 85 %, afectada por evaporación y viento.

Ventajas

- Ideal para terrenos quebrados y pocos profundos (se evita nivelación)
- Adaptable a cualquier sistema de siembra
- Aplicable en suelos de alta erodabilidad
- Apto para terrenos muy permeables o muy impermeables
- Automatizable
- Lavado de sales del suelo
- Lucha contra heladas



Desventajas

- Alta inversión inicial
- La deriva por viento disminuye la uniformidad de aplicación
- La calidad de agua es limitante (tenor salino)
- Interfiere sobre los tratamientos fitosanitarios
- Afecta la sanidad de los cultivos (foliar)
- Pérdidas por evaporación elevadas con altas temperaturas y fuertes vientos
- Requiere personal capacitado

Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

- Sistemas fijos
 - Portátiles o no portátiles

Sistema Fijo



Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

- Sistemas fijos
 - Portátiles o no portátiles
- Sistemas móviles
 - Con movimiento periódico
 - Lateral manual
 - Cañones

Movimiento periódico: lateral



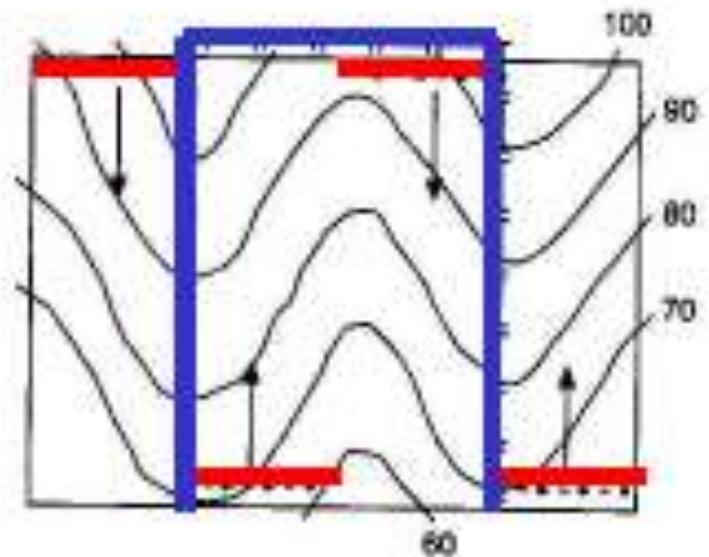
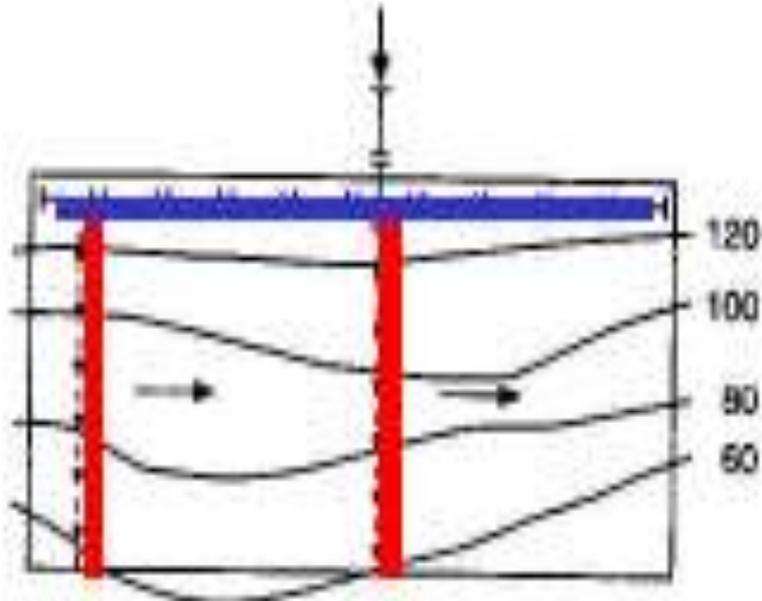
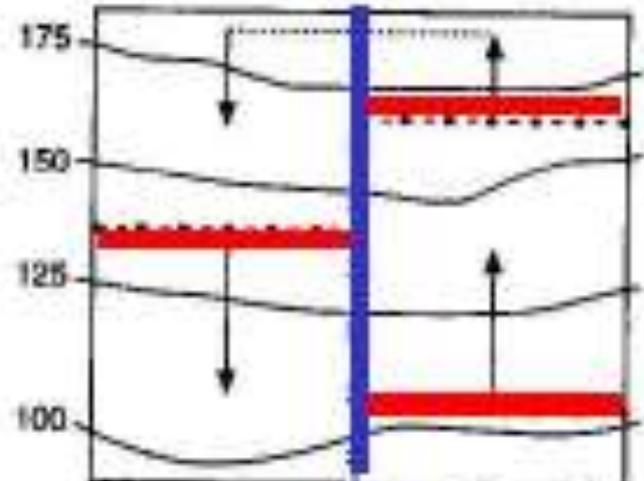
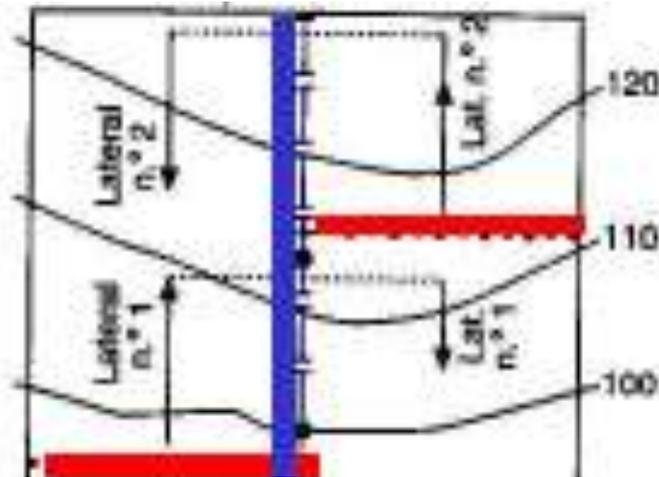
Movimiento periódico: lateral



Movimiento periódico: lateral rodante en maní



Esquemas básicos de movimiento del lateral manual



Movimiento periódico: Cañón



Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

- Sistemas fijos
 - Portátiles o no portátiles
- Sistemas móviles
 - Con movimiento periódico
 - Lateral manual
 - Cañones
 - Con movimiento continuo
 - Enrolladores de cable o manguera
 - Pivote central
 - Avance frontal

Móvil movimiento continuo: Enrroladores de manguera



Móvil movimiento continuo: Enrroladores de manguera



Móvil movimiento continuo: Enrroladores de manguera



Movimiento Continuo: Pivote Central







Móvil movimiento contínuo: Pivote central







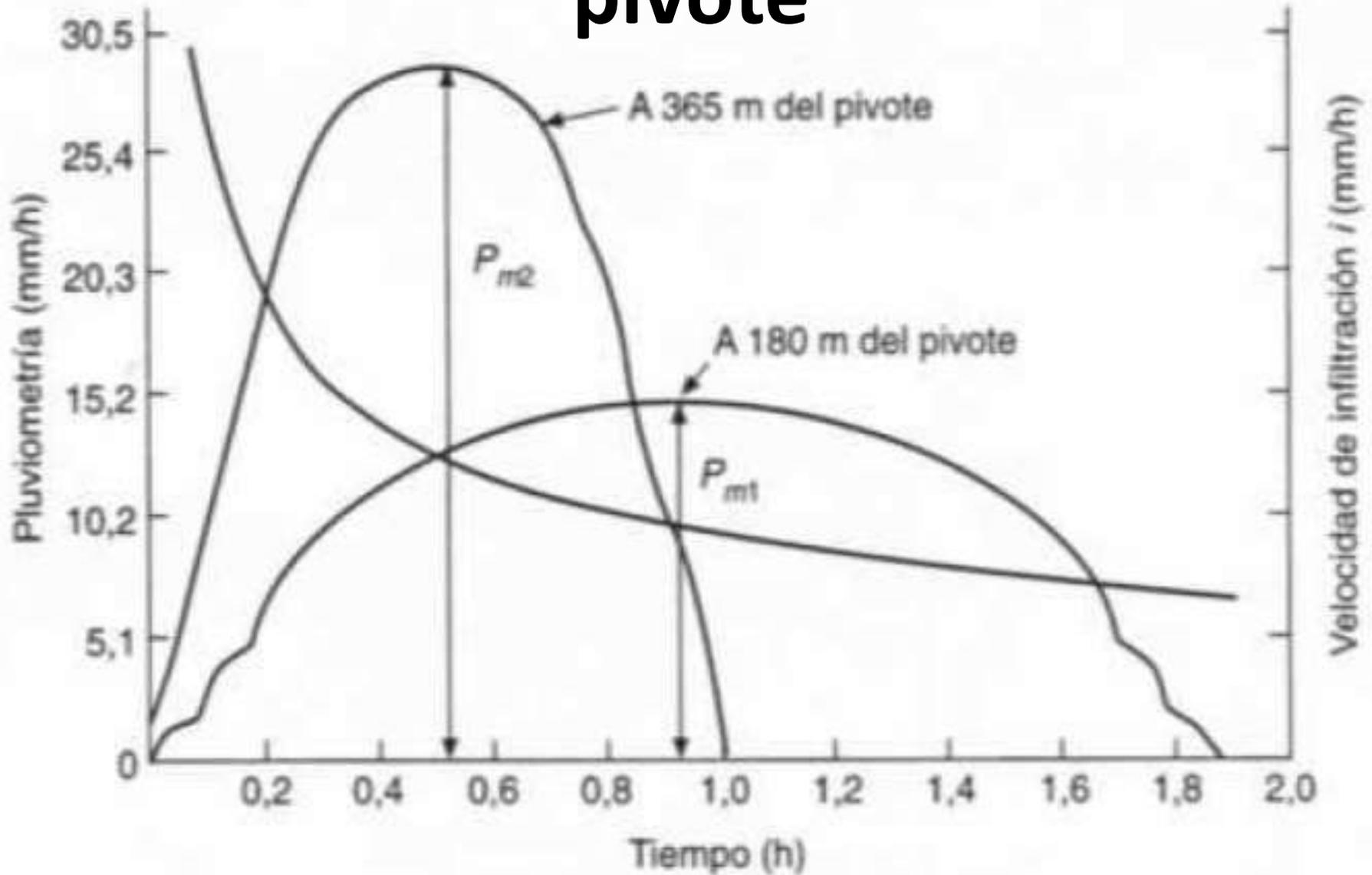








Pluviometría en dos puntos del pivote



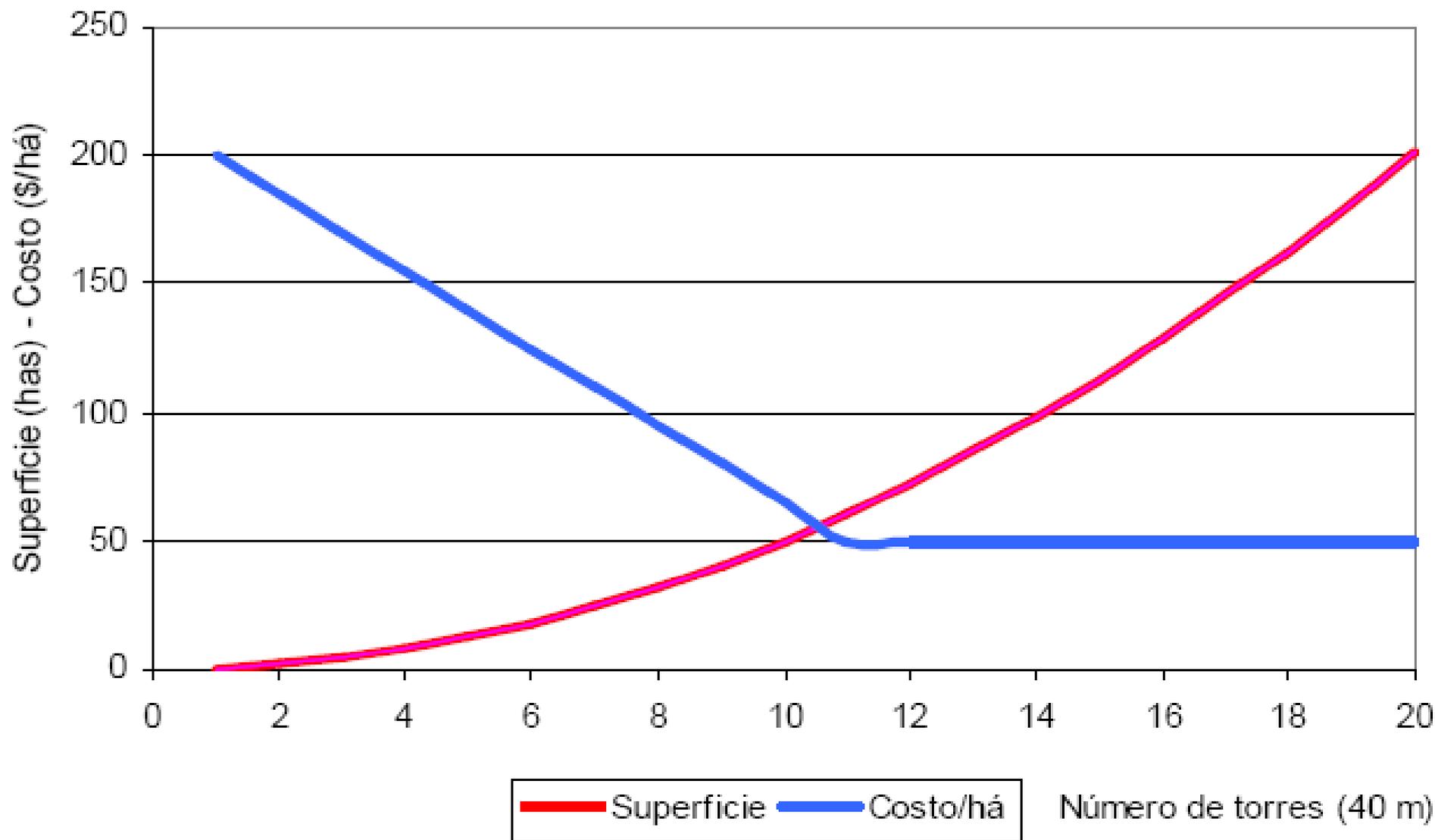
Continuo: Avance frontal



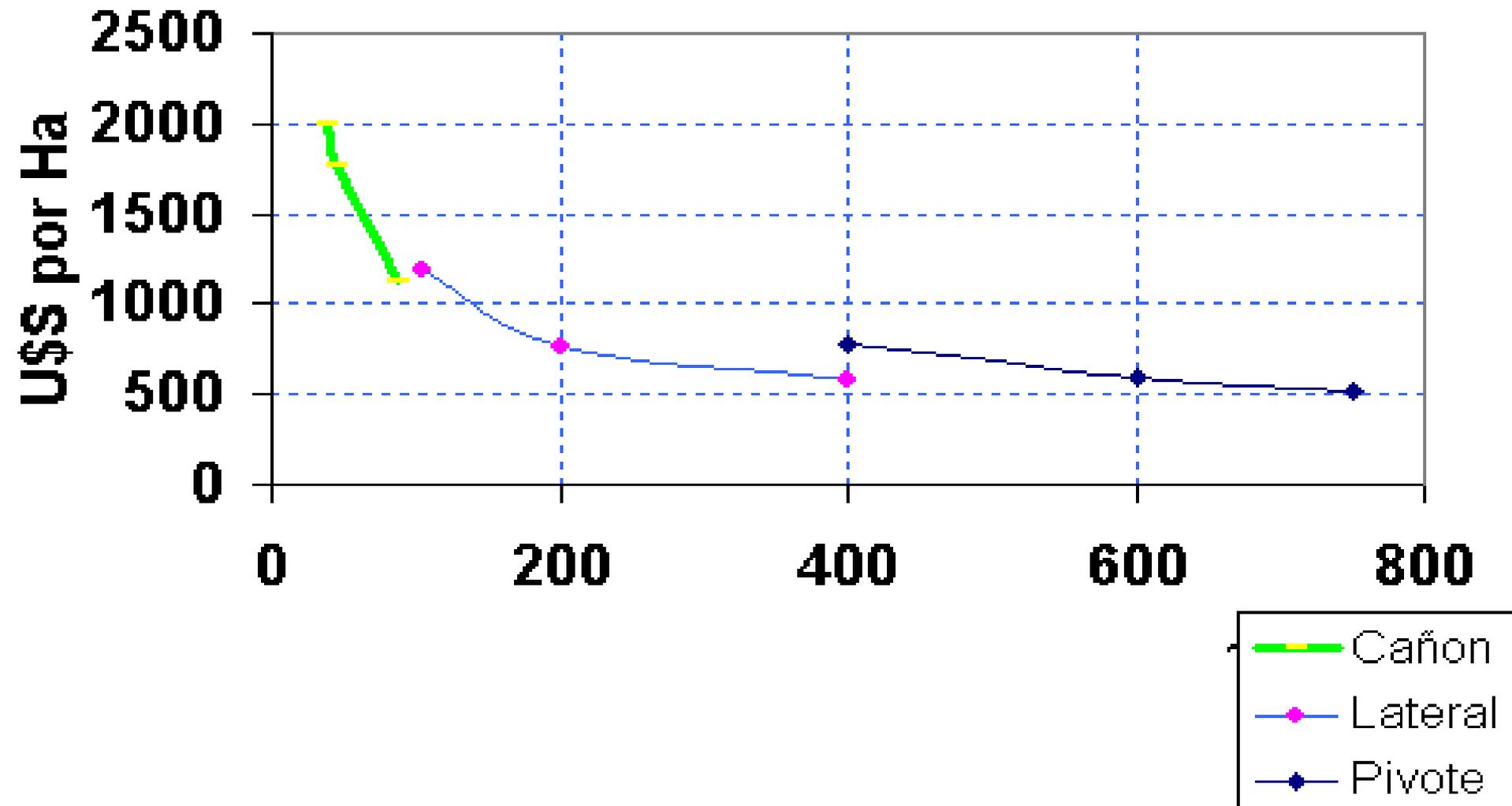
Móvil movimiento continuo: Avance frontal



Costo pivote por ha



Inversión por hectárea según sistema



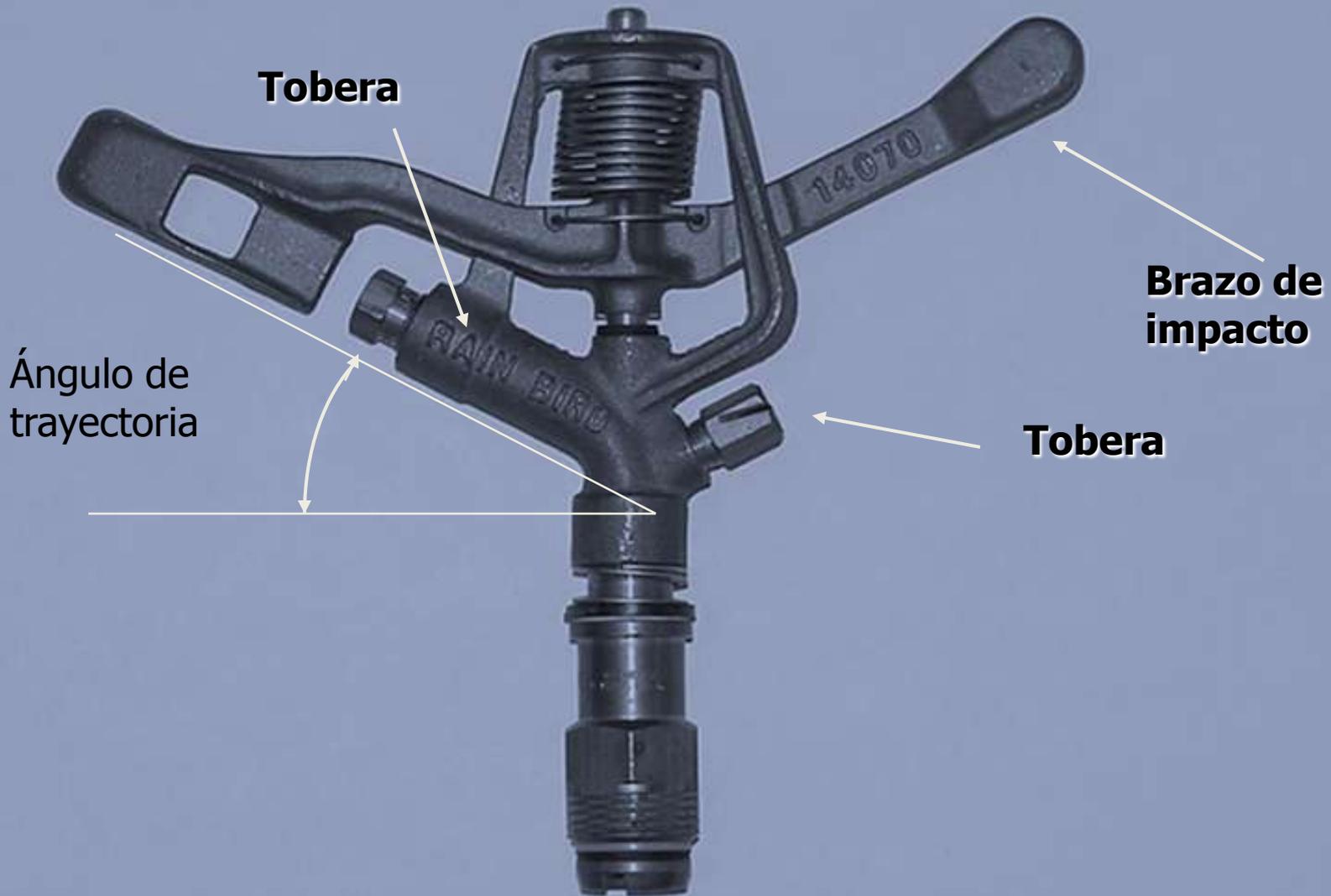
Elección del sistema

- De baja presión, permite riego nocturno, fácil manejo y automatización (pívot)
- En parcela pequeñas o de forma irregular, sistemas fijos
- Los semifijos se usan cada vez menos, porque requieren más mano de obra
- Los laterales de avance frontal, son adecuados para parcelas rectangulares de gran longitud, pero requieren mayor inversión que los pivotes

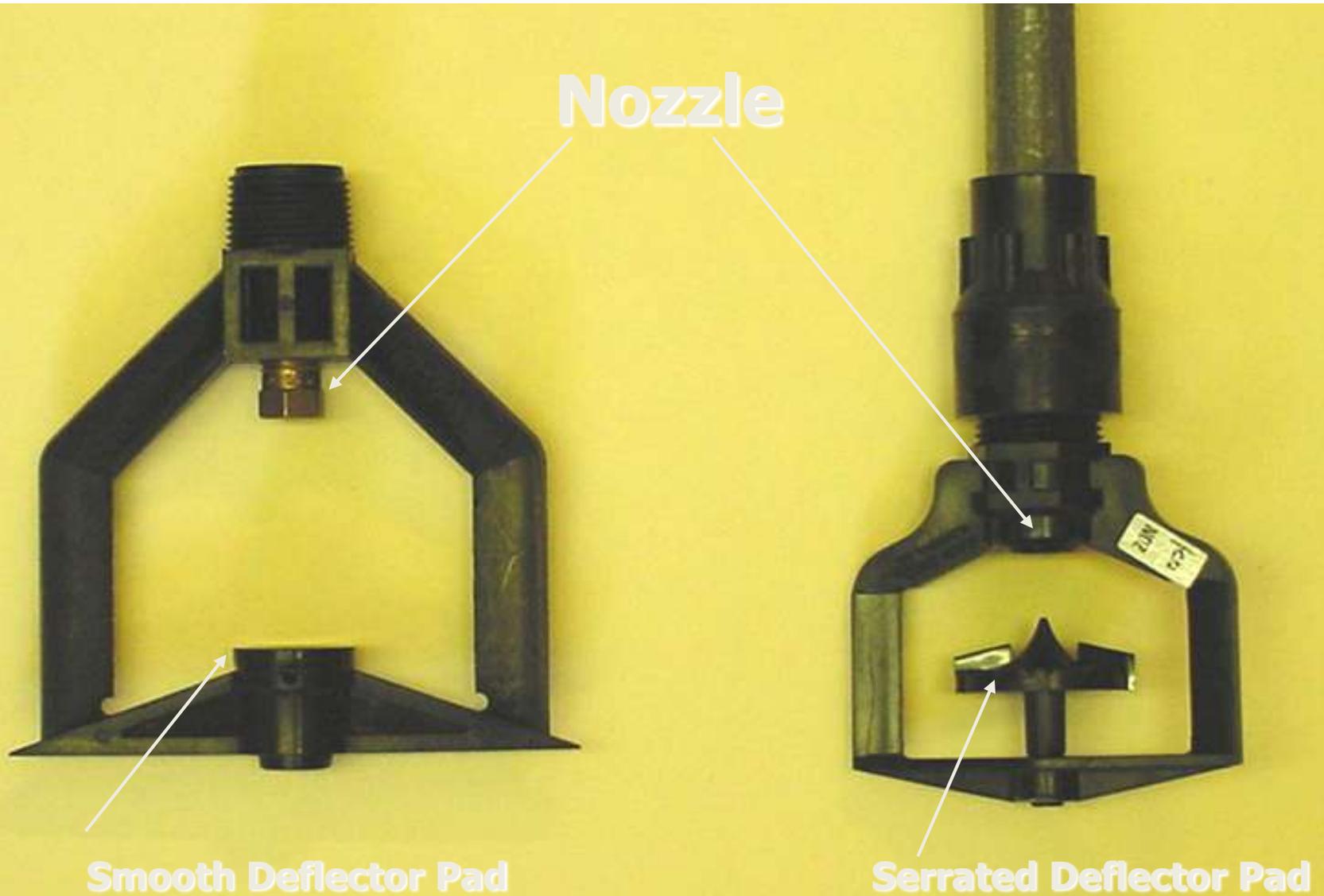
Riego por aspersión: Componentes

- Equipo motobomba
- Ramal principal
- Ramal secundario
- Ala regadora
- Aspersor
- Accesorios

Aspersor de Impacto



Aspersor Spray



Aspersor Pop-up





CLASIFICACIÓN ASPERSORES

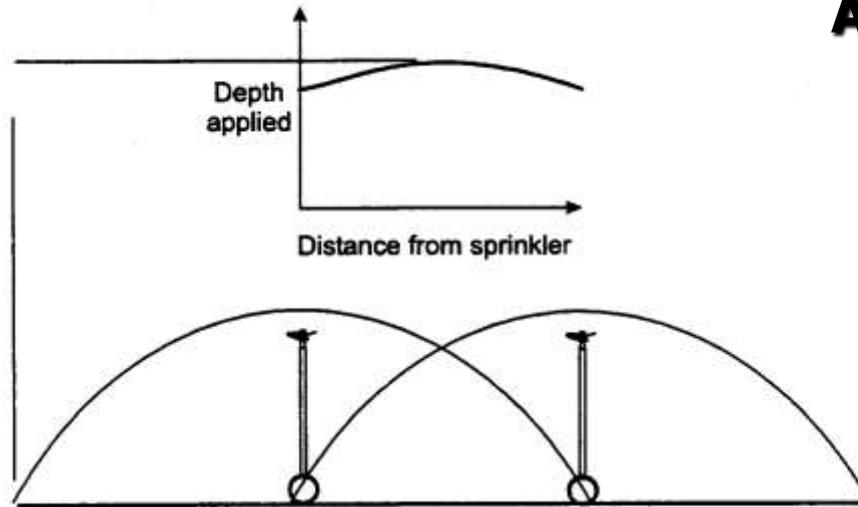
- **Según como asperjan el agua**
 - Estacionarios o giratorios
- **Según su presión de funcionamiento**
 - baja presión: 0 a 2 kg / cm. Dist. menor a 12 m
 - media presión: 2 a 4kg / cm. Dist. entre 6 y 24 m
 - alta presión: mas de 4kg / cm. Dist. mayor a 30 m.

Espaciamientos

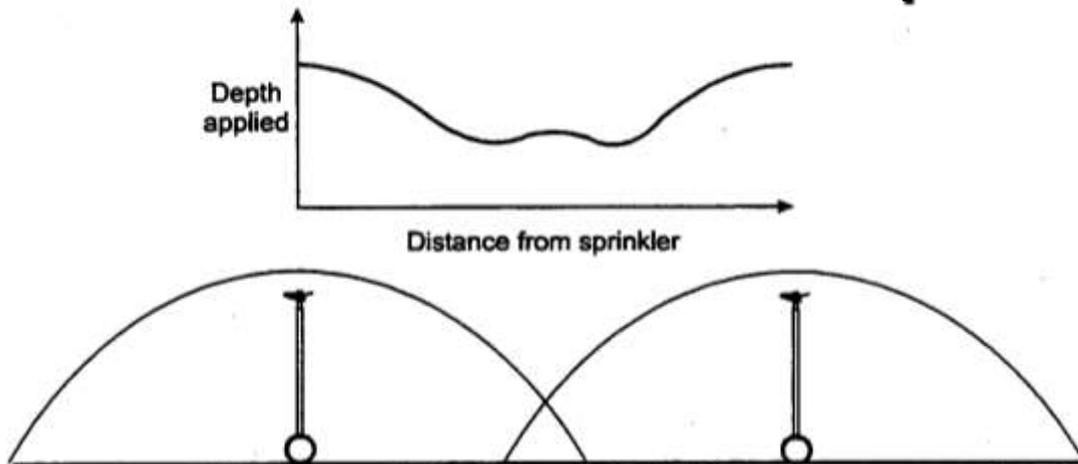
- Pequeños (6, 9 y 12 mts.)
 - *Ventajas*: Riego mas uniforme y Presión menor
 - *Desventajas* : Mayor costo y cant de cambios
- Grandes (mayores a 30 mts.)
 - *Ventajas*: Menor costo y cantidad de cambios
 - *Desventajas*: Riego poco uniforme y mayor presión

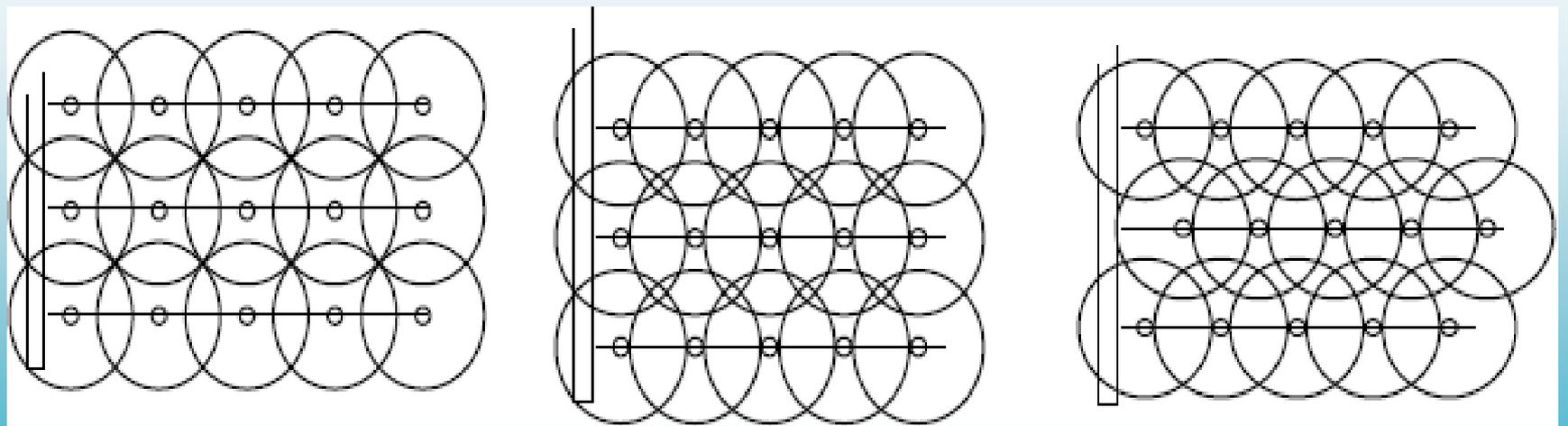
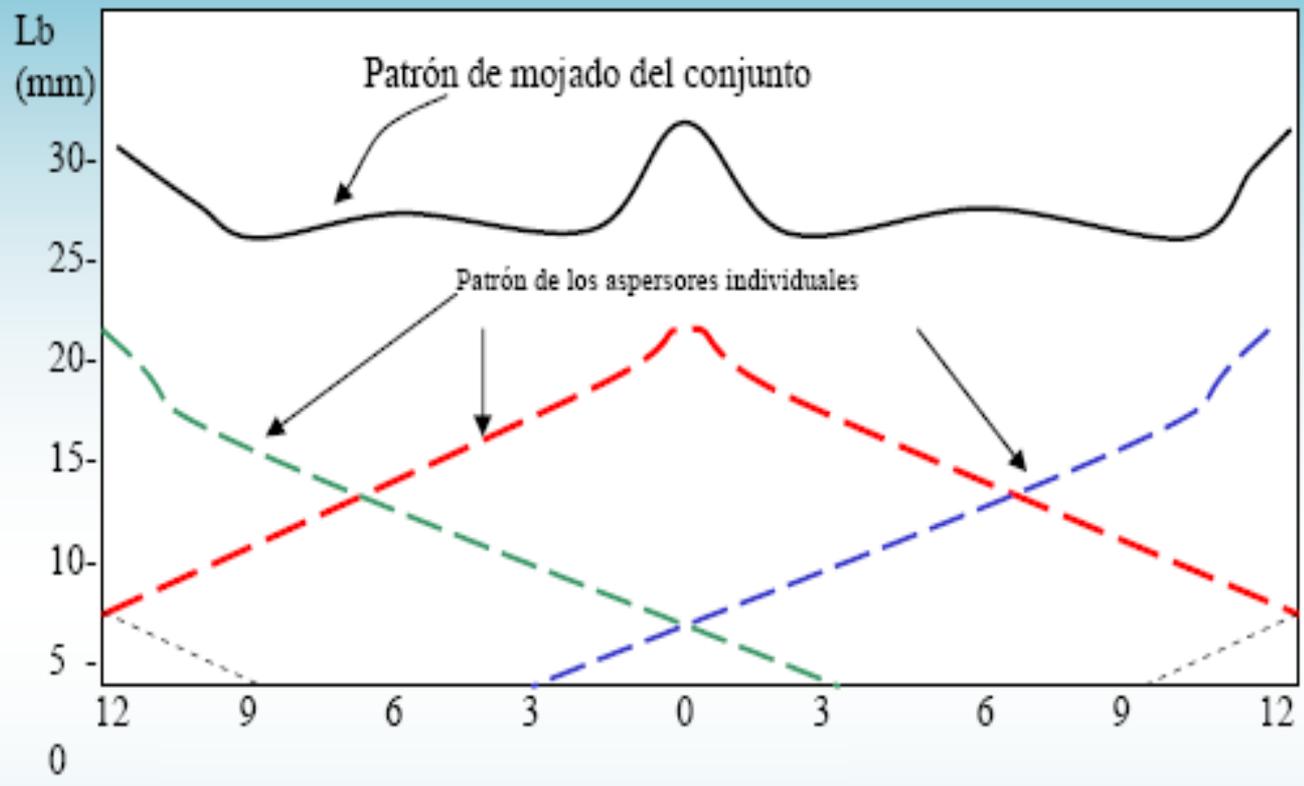
Superposición

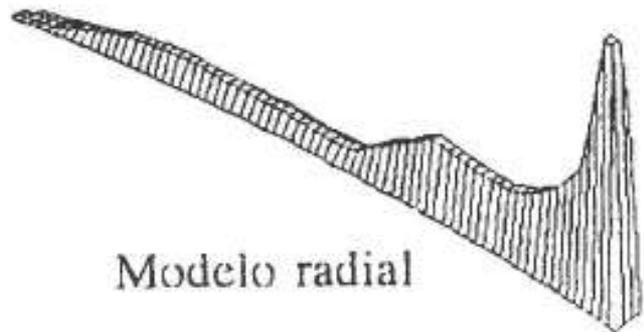
Aplicación uniforme



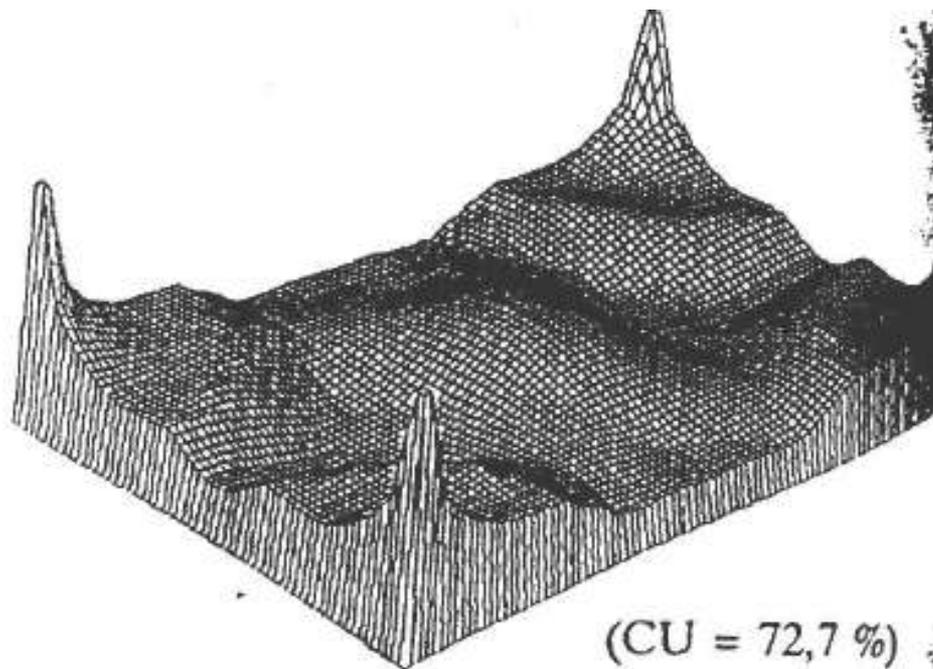
Aplicación desuniforme





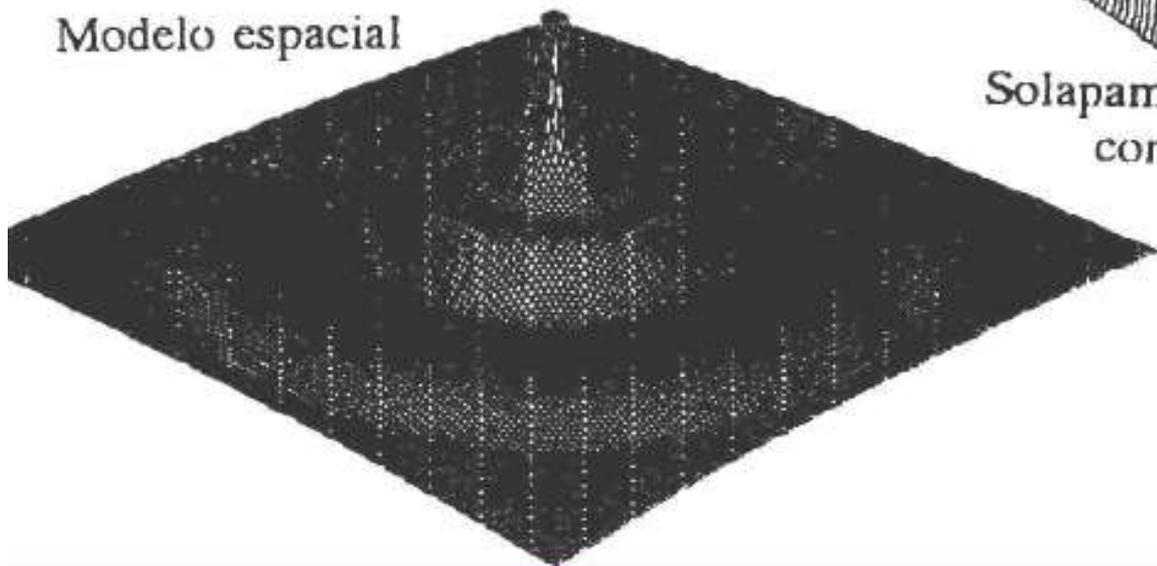


Modelo radial



(CU = 72,7 %)

Solapamiento en marco 12 m x 18 m
con un aspersor en cada esquina



Modelo espacial

Diseño

- Definiciones previas
 - Cultivo
 - Especie
 - Lámina bruta a aplicar e Intervalo de riego
 - Suelo
 - Infiltración
 - Topografía
 - Superficie a regar
 - Fuente de agua
 - Cantidad y calidad
 - Tipo de sistema a utilizar
 - Horas de trabajo diarias

Relación entre descarga y presión de los aspersores

$$Q = c * S \sqrt{2 * g * h}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{c * S \sqrt{2 * g * h_1}}{c * S \sqrt{2 * g * h_2}}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sqrt{p_1}}{\sqrt{p_2}}$$

$$q_1 = q_2 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

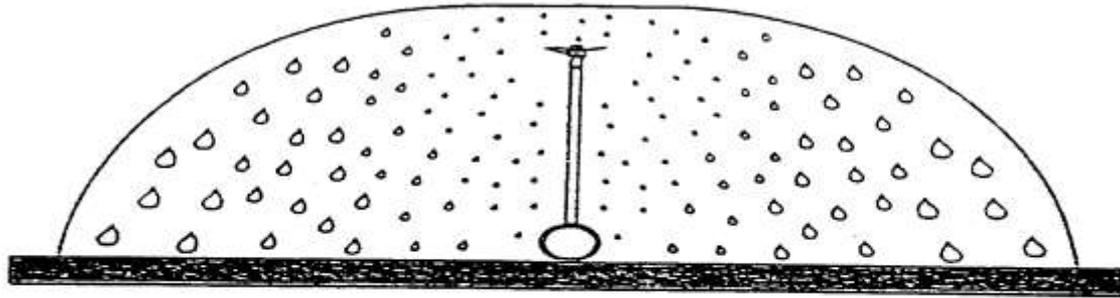
- Duplicando la presión, la pérdida por fricción en un lateral también se duplica, así como la presión en el extremo del mismo

Relación entre descarga y presión de los aspersores

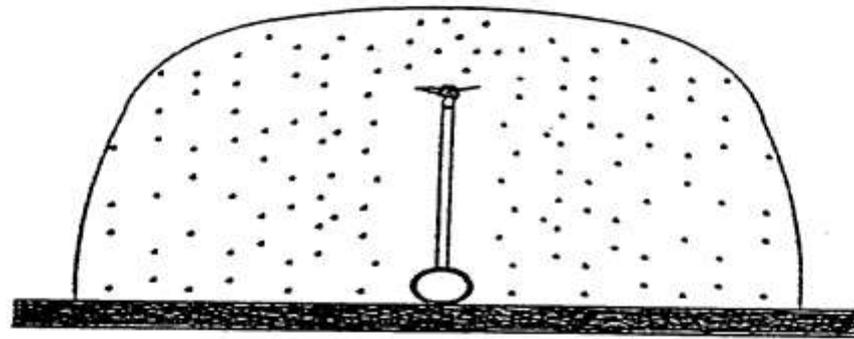
- Christiansen estableció que la variación relativa de la descarga de los aspersores a lo largo de la línea, es aproximadamente la mitad de la variación relativa de la presión
- En diseño se acepta una diferencia de presión del 20 % entre el primer y último regador de la línea de riego (diferencia del caudal erogado del 10 %)

Gota en función de la presión

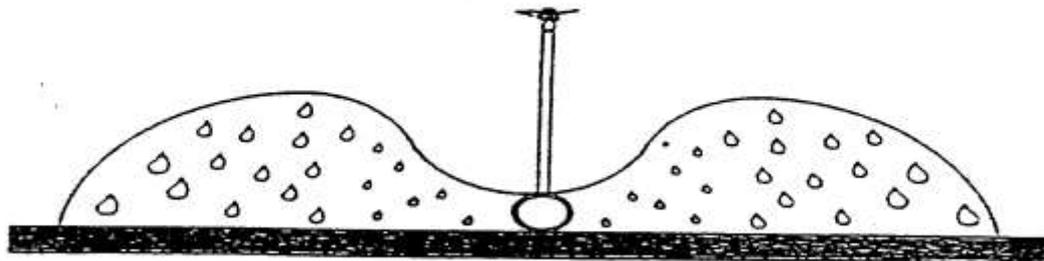
Normal Pressure



Pressure too high



Pressure too low



Golpe de ariete

- Generado a partir de cambios bruscos de velocidad en el interior de la tubería (cierres o aperturas de válvula)
- No sobrepasar los límites de velocidad interna en tubería (1,6 a 2 m / seg)

Caudal

$$q = cd \frac{3,14 * d^2}{4} \sqrt{2 * g * h}$$

- Donde
 - cd= coeficiente de descarga (0,65 a 0,98)
 - d= diámetro de la tobera
 - h= presión de funcionamiento
 - g= gravedad

Alcance

$$R = 2 * \text{sen}2\alpha * \frac{v}{2g}$$

– donde:

- v = velocidad de salida del chorro.
- α = ángulo de inclinación de la boquilla,
- El R máximo se da con 45° , con mayor deriva por viento.
- R varía entre 7 y 12 para aspersores subarbóreos y entre 22 a 32 para cañones y el resto de los aspersores.

Pulverización

- Se evalúa el impacto del tamaño de gota sobre el cultivo y el suelo
- Índice de Tanda: $I_p = d / h$
 - d = diámetro de la boquilla en mm.
 - h = presión de trabajo en m.c.a.

I_p	Gotas	Cultivos	Suelos
<0,3	Finas	Hortalizas, flor, tabaco	Muy arcilloso
0,3 a 0,5	Medias	Frutales, herbáceos intensivos	Arcilloso
>0,5	Gruesas	Praderas	Ligeros

Eficiencia

- A mayor radio de alcance mas eficiente es el aspersor
- Índice de eficiencia
 - $ie = \text{Radio de alcance} / \text{Presión} = R / h$

Precipitación o pluviometría

$$pp(mm/h) = \frac{q}{SI * Sm}$$

- Q = caudal operativo del aspersor.
- SI = superposición dentro del ala regadora.
- Sm = superposición entre alas regadoras.

$$pp(mm/h) = \frac{q(l/h)}{3,14 * R^2 (m^2)}$$

Uniformidad

- La uniformidad de distribución (DU) indica la uniformidad de la infiltración

$$DU = \frac{d(ci)}{d(m)} * 100$$

- $d (ci)$ = promedio de laminas de agua del cuarto inferior, o sea la media del 25 % de las menores laminas recibidas
- $d (m)$ = promedio de laminas recibidas.

Eficiencia del riego

- Eficiencia de la lamina asperjada al infiltrar y almacenarse en el perfil.
- Se obtiene a partir de un muestreo del suelo, se define el contenido hídrico antes del riego y 24, 48 o 72 horas después.

$$\text{Eficiencia .de.aplicación} = 100 * \frac{\text{Lam.media.almacenada.en.D}}{\text{Lam.bruta.derivada}}$$

$$\text{Eficiencia .de.almacenaje} = 100 * \frac{\text{Lam.media.almacenada.en.D}}{\text{Lam.neta.de.reposición}}$$

Diseño de un equipo de riego por aspersión

- La pluviometría no debe superar la infiltración media
- Se proyecta para evapotranspiración máxima, calculándose el intervalo de riego
 - $IR = \text{Lamina neta} / \text{evapotranspiración máxima}$

Pérdidas de carga

- En ramal principal
 - Darcy-Weisbach, Manning o Hazen Williams
 - Scobey
$$H_f = \frac{K_s * L * V}{D}$$
- En ala regadora
 - Factor de Chistiansen

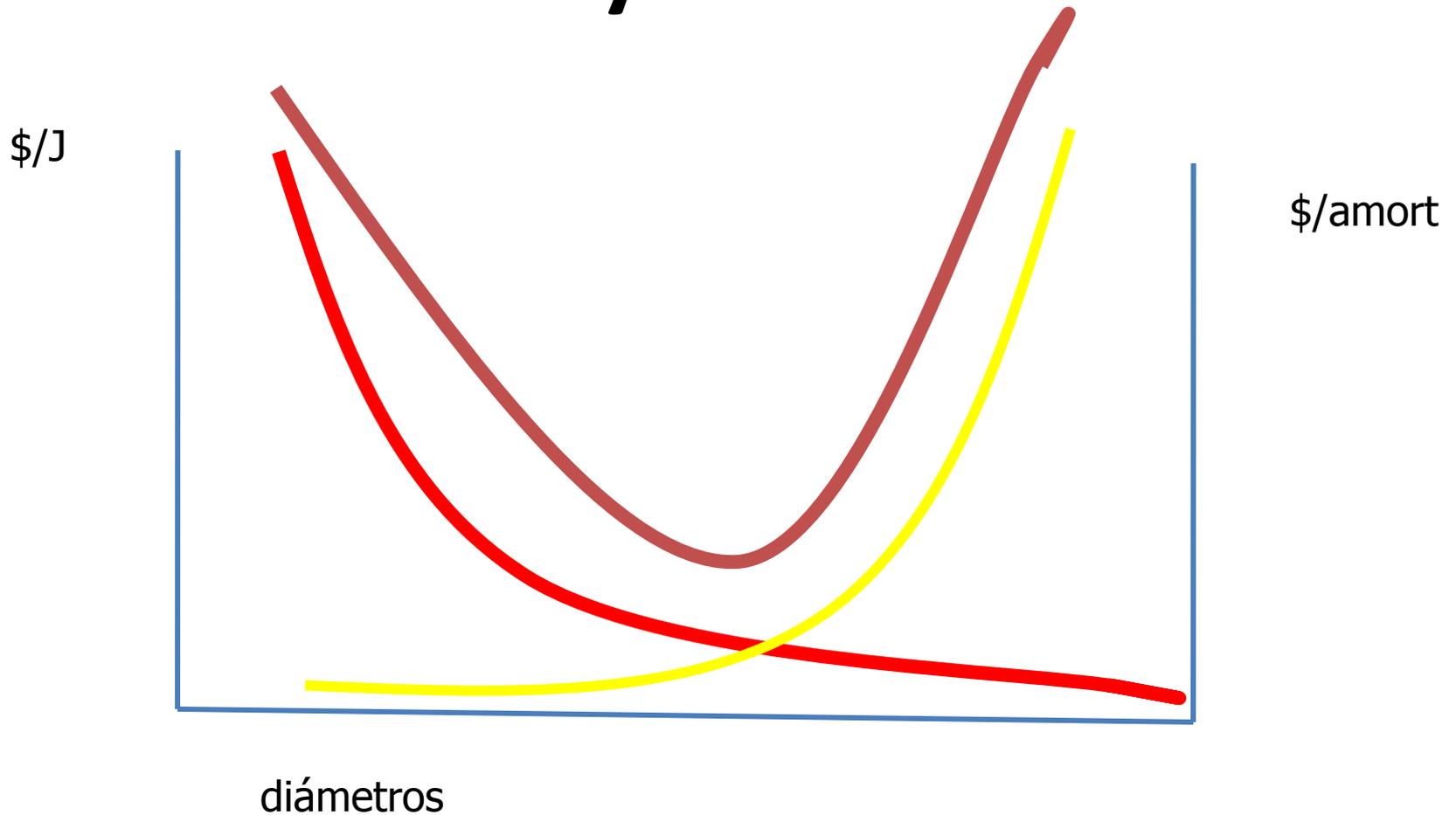
Ramal principal, secundarias y alas regadoras: materiales utilizados

- Las fijas son normalmente metálicas, de plásticos especiales, o de concreto reforzado
- Las móviles son de aluminio o acero zincado a fuego.
- Los tramos de cañería se han estandarizado en 6, 9 y 12 metros y diámetros de 2" a 10" (pulgadas).
- La presión a utilizar deberá tener en cuenta la tubería y los espesores para resistir dicho esfuerzo.

Cálculo del ramal principal

- Se dimensiona en función de:
 - La velocidad máxima 1,5 a 2m/s
 - La pérdida de carga tolerada 20%
 - La sumatoria de los costos de amortización y pérdida de carga

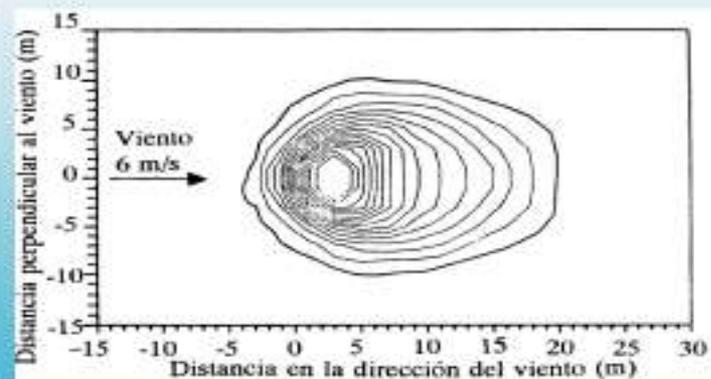
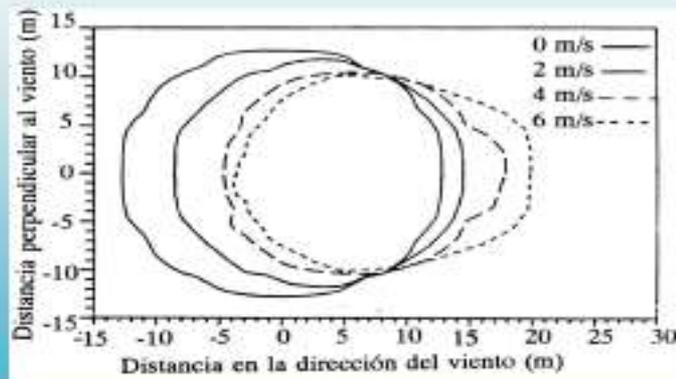
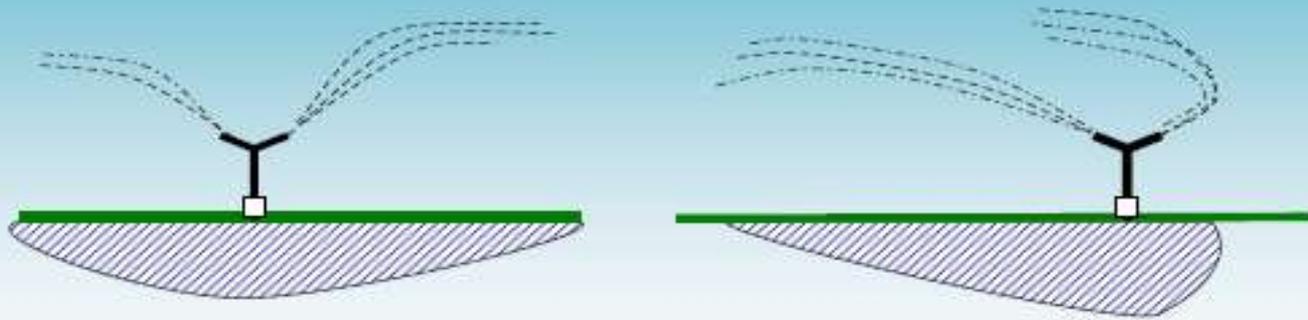
Costo para distintos diámetros en f de las J y amortización



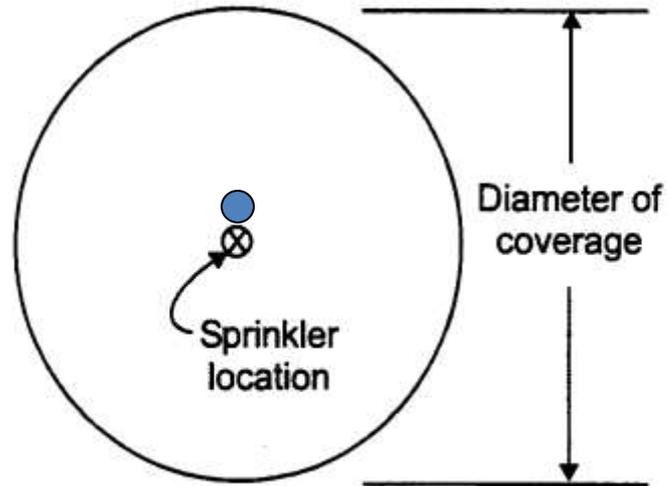
Dirección y longitud de los laterales

- La longitud de los laterales esta limitada por el 20 % de diferencia de perdidas de carga entre sus extremos.
- Por viento los laterales deben disponerse e 45^a a 90^a respecto a la dirección predominante

Efecto del viento

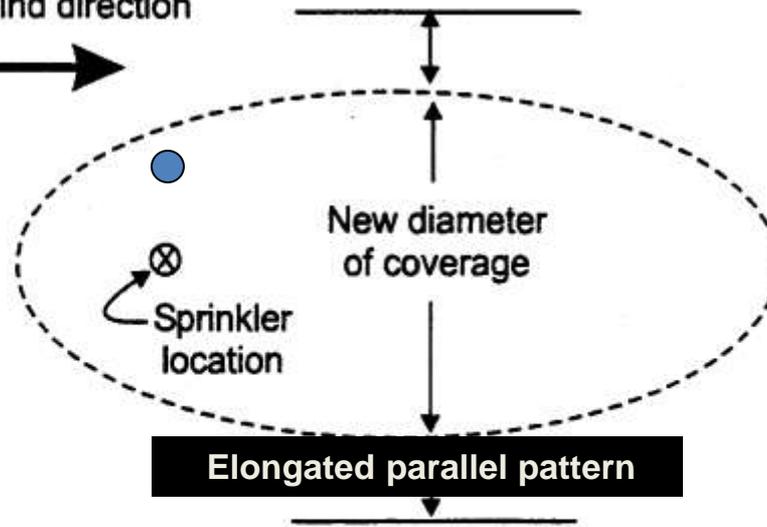


Sin viento

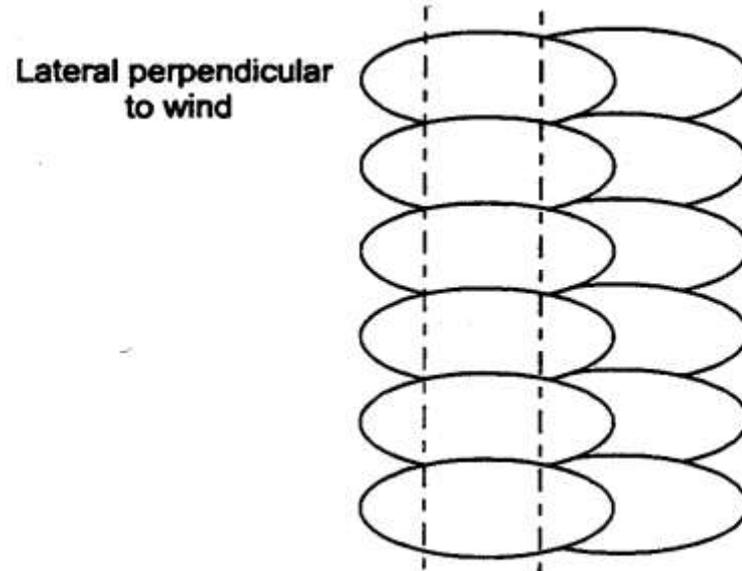
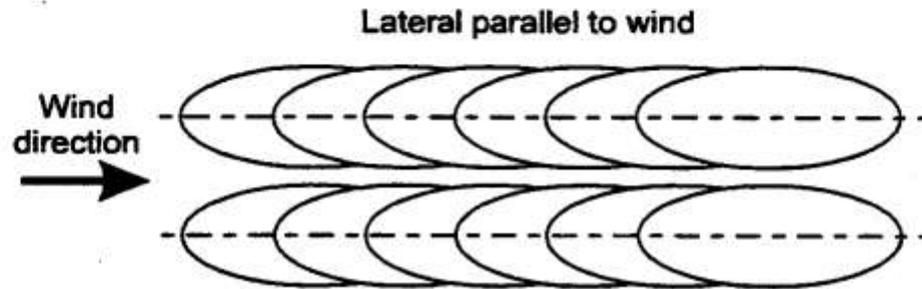
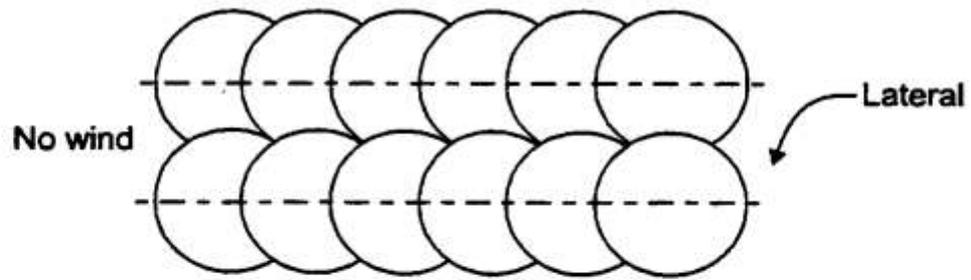


Narrow perpendicular pattern

Wind direction



Elongated perpendicular pattern



Lamina de agua aplicada	Evaporación máxima en mm/día		
	5 mm o menos	de 5 a 7,5 mm	mas de 7,5 mm
	Velocidad del viento promedio: 6, 4 km/h		
25 mm	68 %	65 %	62 %
50 mm	70 %	68 %	65 %
100 mm	75 %	70 %	68 %
125 mm	80 %	75 %	70 %
	Velocidad del viento promedio: 6, 4 a 16,0 km/h		
25 mm	65 %	62 %	60 %
50 mm	68 %	65 %	62 %
100 mm	70 %	68 %	65 %
125 mm	75 %	70 %	68 %
	Velocidad del viento promedio: 16,0 a 24 km/h		
25 mm	62 %	60 %	58 %
50 mm	65 %	62 %	60 %
100 mm	68 %	65 %	62 %
125 mm	70 %	68 %	65 %

Elección de los regadores

- Se selecciona de tablas de acuerdo a:
 - Q del aspersor
 - Presión operativa
 - Alcance
 - Espaciamiento
- La pluviometría que no debe superar la infiltración media

$$P(\text{mm/h}) = \frac{Q}{SI * Sm}$$

- Q = caudal operativo del aspersor.
- SI = superposición dentro del ala regadora.
- Sm = superposición entre alas regadoras.

- **Horas de aplicación**

Deben ser el máximo de horas posibles

- **Numero de cambios de posición (NC) del lateral**

$$NC = A / L * E$$

área de la parcela (A), largo (L), espaciamento (E)

- **Numero de cambios por día (NCD)**

$$NCD = H / T$$

horas de trabajo diarias (H) y tiempo por posición(T)

- **Intervalo de riego (IR)**

debe coincidir con la relación: $IR = NC / NCD$

Diseño de un equipo de riego por aspersión

- Equipo semifijo, es decir, cañería principal fija y alas regadoras móviles.
- Superficie a regar = 24 ha.
- Medidas del lote = 500 x 480 metros.
- Cultivo = Duraznero.
- Lamina bruta a aplicar = 40 mm (400 m³/ha.)
- Turno de riego = 13 a 15 días.
- Horas de trabajo netas por día = 9 hs.
- Intensidad de aplicación (pluviometría) = 12 a 15 mm/hora.
- Topografía = no interfiere.

Capacidad del equipo

$$Q = \frac{240000 \text{ m}^2 * 0,040 \text{ m}}{14 \text{ días} * 9 \text{ hs/día}} = 76.19 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Tabla de rendimiento del regador FG-30

Diámetro tobera mm	Presión operativa atm	Consumo m ³ /h	Radio de aspersión m
8	2.5	3.8	20.0
	3.5	4.5	21.0
	4.5	5.1	22.0
9	2.5	4.8	21.0
	3.5	5.7	22.0
	4.5	6.45	23.0
10 **	2.5	5.95	21.5
	3.5	7.0	23.0
	4.5 **	8.0 **	24.0 **
11	2.5	7.2	22.0
	3.5	8.5	23.5
	4.5	9.7	25.0.

Cantidad de regadores

Q operativo 76.19 m³/h

$$\text{n}^{\circ} \text{ de regadores} = \frac{\text{-----}}{\text{-----}} = 9.52$$

Q del aspersor 8 m³/h

=10 regadores

Tiempo de aplicación

- Lamina bruta de 40 mm
- Pluviometría de 13.8 mm/h

40 mm

$$\text{Tiempo de aplicación} = \frac{\text{-----}}{13.8 \text{ mm/h}} = 2,89 = 3 \text{ horas}$$

Numero de cambios del ala regadora (posiciones)

- El tiempo operativo es de 9 horas diarias necesitándose casi 3 horas por posición para aplicar la lamina de 40 mm.

$$\text{n}^{\circ} \text{ de cambios} = \frac{9 \text{ horas / día}}{3 \text{ horas / posición}} = 3 \text{ posiciones / día}$$

Área regada por día

- Cada regador cubre 576 m²
- Cada ala dispone de 10 regadores
- Cada riego dura 3 horas
- Cada día se riega en 3 posiciones
- $576 \text{ m}^2/\text{regador} * 10 \text{ regadores /posición} * 3 \text{ posiciones / día} = 17280 \text{ m}^2 /\text{día}$

Verificación

- Se verifica si es posible regar dentro del turno de riego las 40 hectáreas con la lámina requerida.

$$240000 \text{ m}^2 * 0,040 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo total} = \frac{\text{-----}}{76,19 \text{ m}^3 / \text{hora}} = 126 \text{ horas}$$

- Tiempo total para regar las 40 hectáreas
 $126 \text{ horas} / 9 \text{ horas} / \text{día} = 14 \text{ días}$
Valor que está dentro de lo establecido

Cálculo del Ala regadora

- Se calculan las pérdidas de carga para un caño ciego
- Por ser una tubería con salidas múltiples se usa el factor de Christiansen F

$$hf_{sm} = hf * F$$

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N}$$

- m = coeficiente que depende de del exponente de velocidad según ecuación utilizada
- N = número de salidas

Longitud del ala regadora y espaciamiento entre aspersores

- Se emplean 10 aspersores a 24 metros.
- La distancia del primer regador suele estar mas cerca de la línea principal, se toma como $\frac{3}{4} D$ (distancia entre aspersores).
- La longitud total del ala regadora:
 - Longitud del ala = $24 * (n^{\circ} \text{ de regadores} - 1) + \frac{3}{4} D$

Diámetro de la cañerías y perdidas de carga para el ala regadora

- Por diseño, las pérdidas de carga no deben superar el 20 % de la presión operativa (4,5 atm) inferior a 9 m
- De tablas, para un caño de 4 ¼" de diámetro y un q= 80 m³/hora las perdidas de carga son de 5,5 %
 - Para 234 metros: $234 \text{ m} * 5,5\text{m} / 100\text{m} = 12,87 \text{ m}$
- Como se trata de una tubería con salidas múltiples (10 salidas) corresponde usar el factor de **Christiansen:**

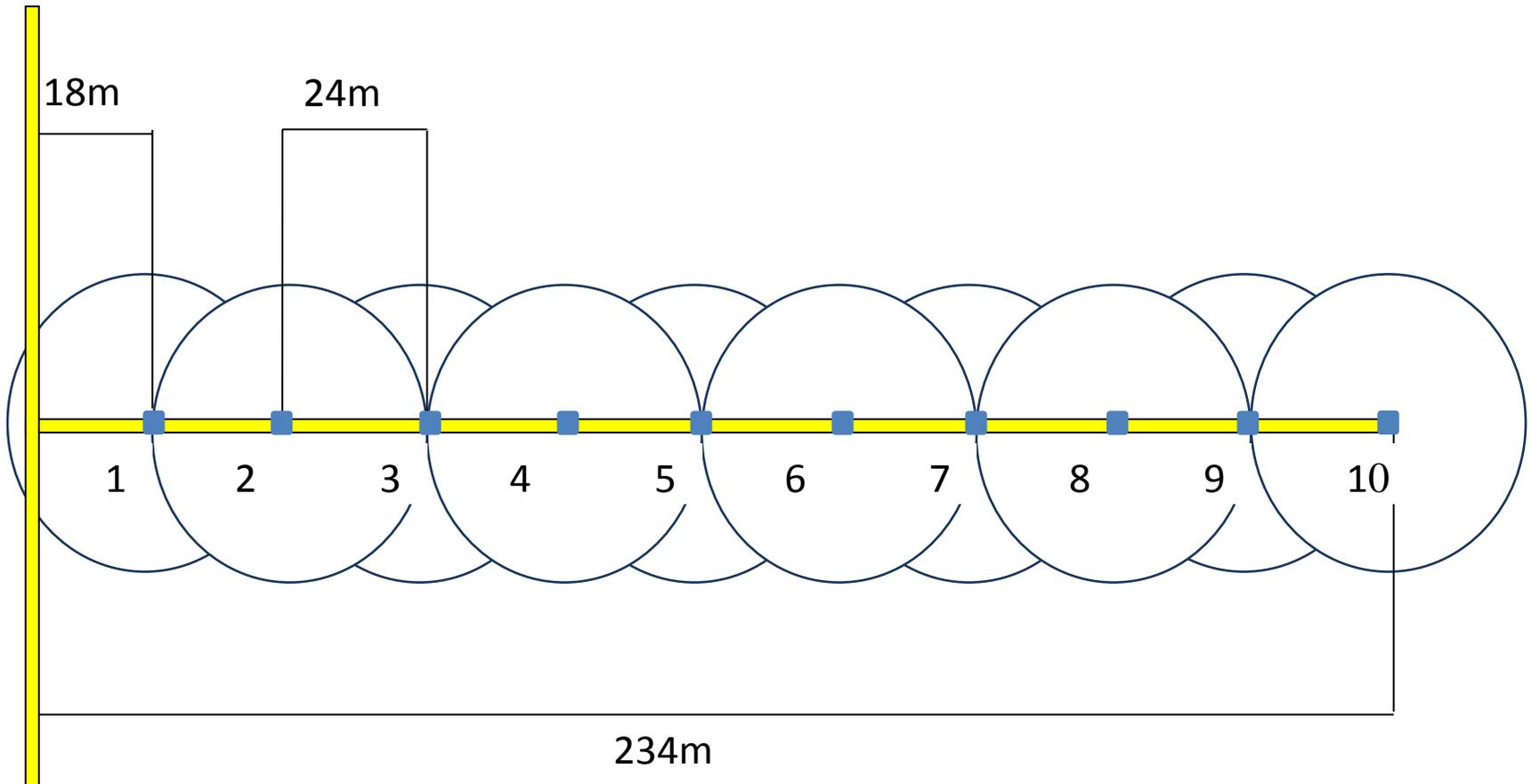
$$12,87\text{m} * 0,402 = 5,17 \text{ m}$$

Este valor no supera los 9 metros permitidos

Salidas múltiples

Nº de salidas	Hanzen y Williams M = 1,85	Scobey m = 1,90	Darcy Weisbach M = 2,00
1	1	1	1
2	0.639	0.634	0.625
3	0.535	0.528	0.518
4	0.486	0.480	0.469
5	0.457	0.451	0.440
6	0.435	0.433	0.421
7	0.425	0.419	0.408
8	0.415	0.410	0.398
9	0.409	0.402	0.390
10	0.402	0.396	0.385
11	0.397	0.392	0.380
12	0.394	0.388	0.376
13	0.391	0.384	0.373
14	0.387	0.381	0.370
15	0.384	0.379	0.367
16	0.382	0.377	0.365
17	0.380	0.375	0.363
18	0.379	0.373	0.361
19	0.377	0.372	0.360

- Longitud del ala = $24 * (10-1) + 3/4 * 24 = 234 \text{ m}$
- Cantidad de caños = $234 \text{ m} / 6 \text{ m/caño} = 39 \text{ caños}$



Posiciones

- El caudal del ala es de $80 \text{ m}^3 / \text{h}$, (10 aspersores de $8 \text{ m}^3 / \text{h}$), algo menor que el operativo ($76,10 \text{ m}^3 / \text{h}$)
- Como las horas de trabajo se redondean a 3, la diferencia observada es poco significativa.
- Las posiciones que tendrá que cambiarse el ala regadora serán:

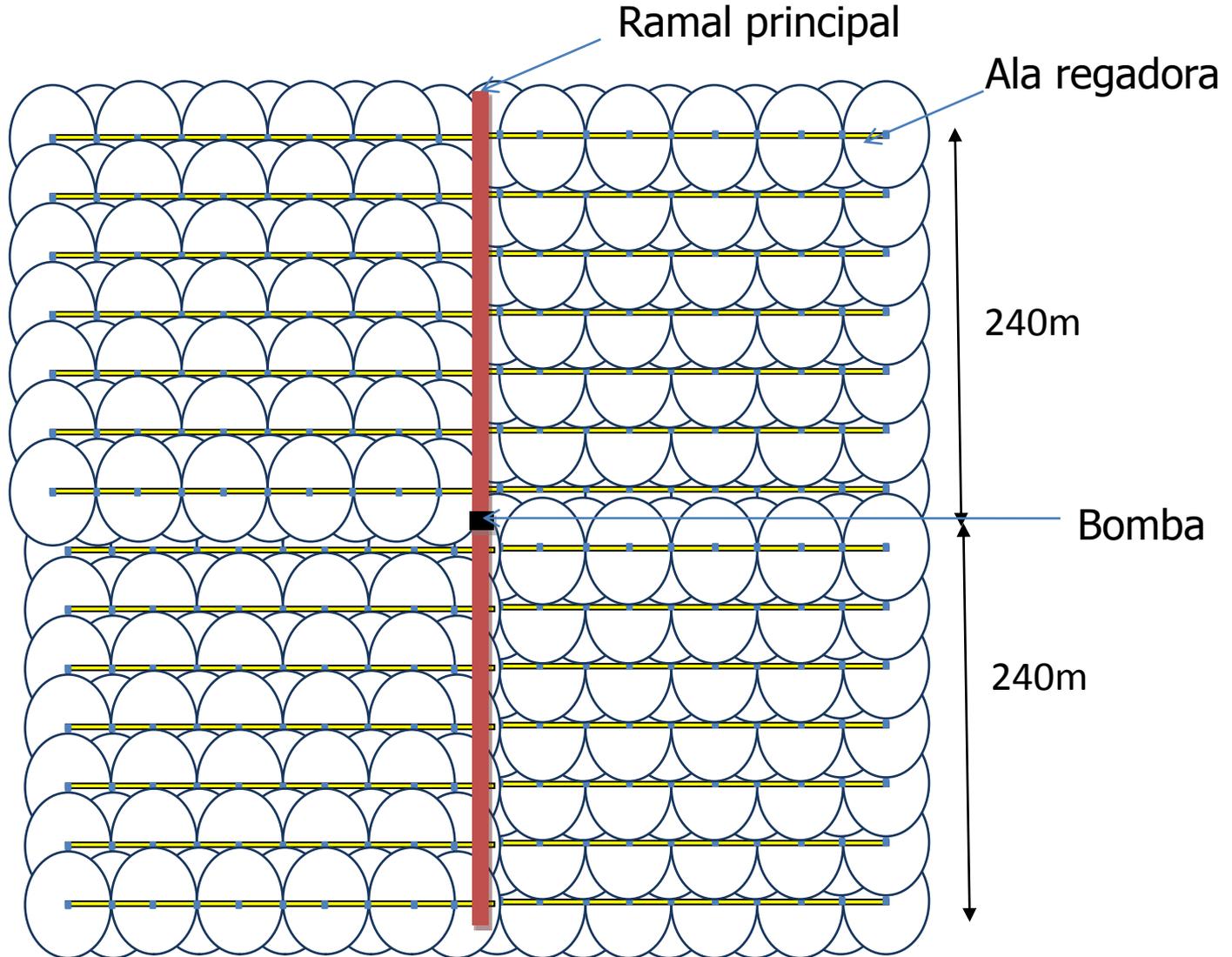
$$576 \text{ m}^2 / \text{regador} * 10 \text{ regadores} = 5760 \text{ m}^2 / \text{posición}$$

$$240000 \text{ m}^2 / 5670 \text{ m}^2 / \text{posición} = 41,66 = 42 \text{ posiciones}$$

Medidas del lote y distribución del ramal principal

- El lote tiene una medidas de 500 m x 480 m (24 ha)
- El ramal principal de 480 m esta integrado por 80 caños de 6 m con un diámetro interior de 5"
- La bomba se encuentra en la mitad de este ramal
- Las pérdidas de carga resultantes de 2%, se calculan para 240 m con lo que se obtiene un valor e 4,80 m

Esquema del potrero



Equipo de bombeo

- El agua se obtiene de una freática cuyo nivel dinámico de bombeo es de 23 m
- A efectos de calcular la potencia necesaria para la bomba se debe determinar la HMTD (altura manométrica total disponible):

HMTD

Cálculo de la potencia de la bomba

- Potencia = $\frac{Q * HMTD}{ef.mb}$
- Se considera una eficiencia motobomba de 75 %
- La potencia necesaria expresada en CV es:
 $0,0222 \text{ m}^3 / \text{s} * 94 \text{ m} * 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$
- $Ne = \frac{\text{-----}}{0,75 * 75 \text{ kgm} / \text{s CV}} = 37,09 \text{ CV}$

En la práctica se usará una bomba un poco mayor

Bibliografía

- Salassier Bernardo “Manual de Irrigación” (Univ. Federal de Viscosa Minas Gerais Brasil)
- Pair, y otros, “Riego y Drenaje”. (Sprinkler Irrigation, S.I.A. – Washington DC, EEUU)
- D`At de Saint Foule, “El riego por aspersión”. (Editores Técnicos Asociados S.A. – Barcelona, España)
- Gómez Pompa, “Riegos a presión, Aspersión y Goteo”. (Ed. AEDOS, Barcelona – España)