

RIEGO PRESURIZADO

Dr. Jorge Jara R. y Dr. Eduardo Holzapfel H.

Ingenieros Agrónomos,

Ph.D. en Ingeniería

Facultad de Ingeniería Agrícola

Universidad de Concepción

I. INTRODUCCION

Un sistema de riego bien planeado y que se utiliza de manera eficiente, contribuye, en forma significativa, al desarrollo y beneficio de la empresa agrícola. Esto es aún más crítico en riego presurizado donde sus costos de implantación y operación son elevados.

En general, los métodos de riego presurizados se caracterizan por tener una distribución a través de tuberías y bajo condiciones de presión. Entre los principales métodos de riego presurizado encontramos al riego por aspersion, microjet y goteo, otros son sólo variantes de ellos.

II. RIEGO POR ASPERSION

El riego por aspersion aplica el agua asperjada al suelo, o sea, fracciona el caudal en innumerable cantidad de gotas que se infiltran en el terreno al momento que alcanza la superficie del mismo. Es un método de riego, que asegura un preciso control de la lámina aplicada acorde a las condiciones edafoclimáticas y de cultivo.

El riego por aspersión se emplea en una gran diversidad de cultivos y condiciones naturales y, en determinados casos, compite incluso con ventajas con el riego superficial. Sin embargo, es insustituible en las siguientes condiciones:

- * Terrenos de topografía irregular
- * Suelos poco profundos en los cuales no pueden realizarse trabajos de nivelación
- * Suelos con alta velocidad de infiltración
- * Disponibilidad de agua en caudales pequeños y largos horarios de riego

Dado que este método cubre íntegramente el área irrigada, se presta especialmente para cultivos de alta densidad, tales como forrajeras y cereales, y para cultivos hortícolas. Su empleo en cultivos permanentes, tales como frutales, es menos factible por el patrón de humedecimiento del suelo en algunos casos, y por la altura y características que dificultan notablemente los trabajos de movimiento de las tuberías en otras.

Los costos de instalación son elevados, dada la inversión inicial requerida en tuberías, aspersores, accesorios y equipos de bombeo. En análisis comparativos con el riego superficial, dichos costos deben compararse con los de nivelación de suelos.

Los costos de operación pueden, asimismo, considerarse altos en los equipos íntegramente móviles, que obligan a un frecuente traslado de las tuberías. Dichos costos de operación se reducen sustancialmente en los equipos fijos o semifijos, donde la motobomba y las tuberías permanecen en la misma posición.

El riego por aspersión tiene aplicaciones adicionales, tales como la distribución de abonos en procesos de ferti-irrigación. Asimismo, se instala para el control de heladas mediante equipos especialmente proyectados para tal fin.

2.1 Componentes del equipo de riego por aspersión.

Un equipo de riego por aspersión está integrado por el equipo motobomba, las tuberías, los aspersores y los accesorios.

2.1.1 Equipo Motobomba.

El equipo motobomba tiene por fin aspirar el agua desde la fuente de provisión e impulsarla a través del sistema. Dado que para el funcionamiento de los aspersores se requiere carga hidráulica, la bomba crea la presión necesaria para ello, como así también, para compensar las pérdidas de energía en las tuberías. Esta parte del equipo se omite cuando la fuente de agua está a una elevación tal, de manera que la energía para el funcionamiento eficiente del equipo es proporcionada por el desnivel.

Se emplean para riego por aspersión bombas centrífugas de eje horizontal y bombas turbinas. El motor puede ser eléctrico o a combustión; conjuntamente con la bomba, el motor integra el equipo motobomba que puede ser fijo o móvil.

2.1.2 Tuberías.

Las tuberías de un método de riego por aspersión la integran aquellas que conducen el agua desde la bomba a los aspersores. Dichas tuberías pueden ser todas fijas, en cuyo caso el equipo es fijo y van enterradas; pueden ser semifijas, equipo semifijo, con parte de tubería fija y parte móvil; y pueden ser móviles, equipo móvil, con todas las tuberías transportables.

Las tuberías fijas son comúnmente, de PVC, de asbesto-cemento o de concreto reforzado con juntas especiales. Las tuberías móviles, en cambio, son de aluminio o PVC, se caracterizan por su reducido peso a fin de que se puedan trasladar con facilidad y con el mínimo esfuerzo; y se

integran por tramos de 6, 9 ó 12 m de largo y diámetro variable entre 50 y 110 mm. Cada tramo se une por medio de un sistema especial de acoplamiento rápido. El acoplamiento al ser angulable, de 3° en algunos tipos y 12° en otros, permite adaptar la tubería a las irregularidades de terreno. Se emplean diferentes sistemas de acoplamiento: de palanca (Sistema europeo) y otro hidráulico automático (Sistema americano)

2 1 3 *Aspersores*

La mayor parte de los aspersores existentes en la actualidad en el comercio para uso en la agricultura son giratorios, con una o dos toberas o boquillas, produciéndose dicha rotación ya sea por efecto del impacto, por acción del chorro de agua sobre una rueda dentada o por reacción. El giro puede ser total o regulable para cubrir sólo un sector del círculo

Se ha empleado en este método de riego una diversidad de tipos de aspersores, en cuanto a características, tamaño y presión de operación con la consiguiente diferencia en la intensidad de precipitación, radio de alcance del chorro y distribución de la lluvia.

Las casas fabricantes publican especificaciones de diferentes marcas y tipos de aspersores, donde se detallan las condiciones de trabajo de los mismos. Ello permite elegir el aspersor más adecuado a la intensidad de precipitación propuesta e intervalo en el cual debe cubrirse un área determinada de terreno (Tabla 1).

TABLA 1. Ejemplo de aspersores y sus características de trabajo. Datos numéricos para el riego circular en el recorrido diestro.

| Diámetro de la Tobera en mm | Presión en el regador en bar | Alcance del chorro en m | Consumo de agua m ³ /ha | Distancia convenientes entre regadores | | Superficie a regarse m ² | | Pluviometría según arreglo, en mm/hr | |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|------------|-------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | □ plano | ∇ plano | □ plano | ∇ plano | □ plano | ∇ plano |
| 4.0 | 3.0 | 15.3 | 1.02 | 18 | 24/24 | 324 | 576 | 3.15 | 1.77 |
| | 4.0 | 16.5 | 1.19 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 2.07 | 1.66 |
| | 5.0 | 17.1 | 1.32 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 2.29 | 1.83 |
| 4.2 | 3.0 | 15.6 | 1.14 | 18 | 24/24 | 324 | 576 | 3.52 | 1.98 |
| | 4.0 | 16.7 | 1.32 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 2.30 | 1.84 |
| | 5.0 | 17.3 | 1.47 | 24 | 24/30 | 576 | 750 | 2.55 | 2.04 |
| 4.5 | 3.0 | 15.7 | 1.32 | 18 | 24/24 | 324 | 576 | 4.08 | 2.29 |
| | 4.0 | 16.9 | 1.52 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 2.64 | 2.11 |
| | 5.0 | 17.5 | 1.96 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 2.94 | 2.35 |
| 5.0 | 3.0 | 17.7 | 1.63 | 18 | 24/24 | 324 | 576 | 5.03 | 2.83 |
| | 4.0 | 18.9 | 1.83 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 3.26 | 2.61 |
| | 5.0 | 19.6 | 2.10 | 24 | 24/30 | 576 | 720 | 3.65 | 2.92 |
| 6.0 | 3.0 | 17.7 | 2.37 | 24 | 24/24 | 576 | 720 | 4.12 | 3.29 |
| | 4.0 | 18.9 | 2.74 | 24 | 24/24 | 576 | 720 | 4.75 | 2.81 |
| | 5.0 | 19.6 | 3.06 | 24 | 30/30 | 576 | 900 | 5.32 | 3.40 |
| 7.0 | 3.0 | 19.4 | 3.22 | 24 | 30/30 | 576 | 900 | 5.59 | 3.58 |
| | 4.0 | 20.0 | 3.73 | 24 | 30/35 | 900 | 1080 | 4.14 | 3.46 |
| | 5.0 | 21.3 | 4.16 | 30 | 30/35 | 900 | 1080 | 4.62 | 3.85 |

2.1.4. *Accesorios.*

Un equipo de riego por aspersión está asimismo integrado por una gran cantidad de elementos adicionales que constituyen los accesorios. Ya sea accesorios de aspiración del agua, tales como la manguera o tubería con acoplamiento rápido que toma el agua de la fuente por efecto de una motobomba móvil; accesorios de conducción del agua instalados en el lateral, tales como curvas, uniones en Tee, reducciones, control y reguladores depresión.

III CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas de riego por aspersión se clasifican en función de la movilidad de los diferentes elementos que lo conforman, ya que facilita la comprensión de su funcionamiento. En la Figura 1 se muestra la clasificación de los sistemas de riego por aspersión, los cuales pueden asociarse en dos grandes grupos: los estacionarios, que permanecen fijos mientras riegan, y los de desplazamiento continuo durante la aplicación de agua.

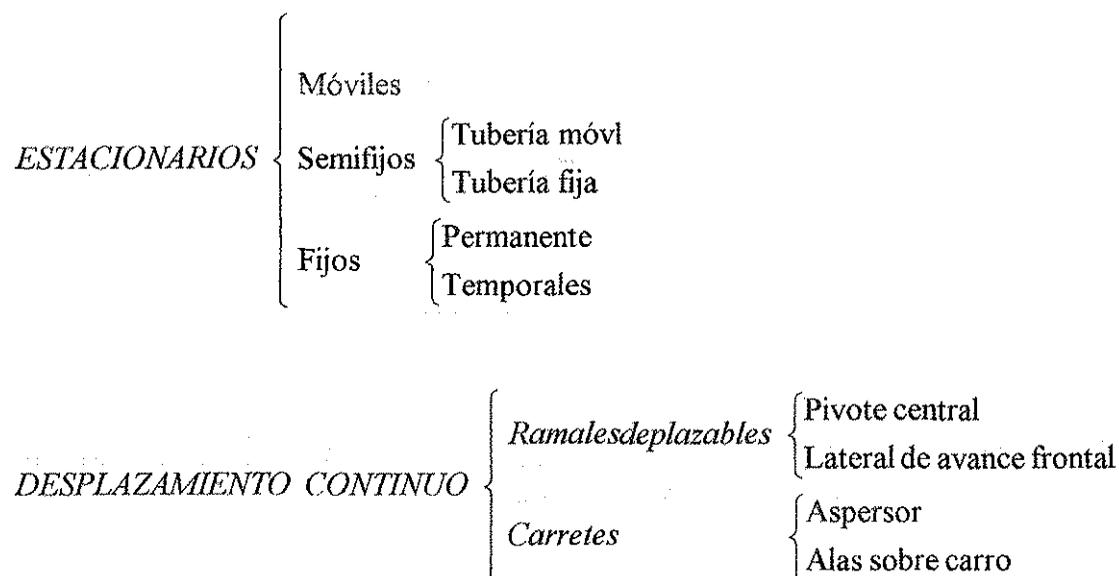


FIGURA 1. Clasificación de los sistemas de aspersión.

3.1. *Estacionarios.*

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

Los sistemas semifijos llevan los mismos elementos que un sistema móvil. Suelen tener fija la estación de bombeo y la red de tubería principal que va enterrada. De ésta derivan los hidrantes

donde se conectan las tuberías secundarias (de alimentación) y los laterales, que son móviles. Estos laterales pueden llevar directamente acoplados los aspersores o ser independientes del aspersor. En los de tubería fija únicamente se cambian los tubos porta aspersores y los aspersores.

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, mientras que los sistemas fijos temporales hay que colocarlos al principio de la temporada de riego y retirarlos al final de la misma.

3.2 *Desplazamiento Continuo.*

La tendencia actual es hacia los sistemas de baja presión que permitan el riego nocturno (por menor evaporación y velocidad del viento), sean de fácil manejo y automatización. En los ramales desplazables, entre los que se encuentran el pivote y el lateral de avance frontal, tienen una base mecánica muy semejante, pero su diseño hidráulico es completamente diferente.

Frente al lateral de avance frontal el pivote tiene algunas ventajas. La toma de agua y la energía son fijas, minimizando la intervención del hombre gracias a la automatización que regula el riego, prácticamente sin problemas. Las principales desventajas del pivote son la mayor presión de trabajo (por tener mayores pérdidas de carga en las tuberías), la elevada pluviometría en el extremo y la superficie que deja sin regar al no ser circular la forma que generalmente tienen los potreros.

Por su parte, el lateral de avance frontal tiene una pluviometría constante e inferior a la que el pivote tiene en su extremo. Esto origina menores pérdidas de carga y la disponibilidad de alcanzar mayor uniformidad en la aplicación del agua utilizando baja presión. Como inconvenientes están sus mayores dificultades de instalación y funcionamiento, al ser móviles la toma de agua y la energía. Además, al llegar al extremo del potrero tiene que volver sin regar, dificultando su manejo.

En una segunda clasificación dentro del desplazamiento continuo están los carretes (aspersor y alas sobre carro). Para el cálculo de las velocidades de avance de estos carretes, se utilizará la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{h_{ap} * E} \quad (\text{Ec.1})$$

donde V es la velocidad de avance del aspersor (m/h),
 Q es el caudal del aspersor (l/h),
 h_{ap} es la altura de agua aplicada (mm) y
 E es el espaciamiento entre posturas (m).

Carrete con Aspersor o Cañón. Este sistema de riego utiliza aspersores rotativos de gran tamaño que operan a alta presión y tienen un gran diámetro de mojadura. Lo más frecuente es que estos aspersores se monten sobre carros o patines adaptables a distintas anchuras y alturas según lo requiera el cultivo, desplazándose a lo largo del campo mientras riega. En la Figura 2 se muestra el esquema de un carrete con aspersor.

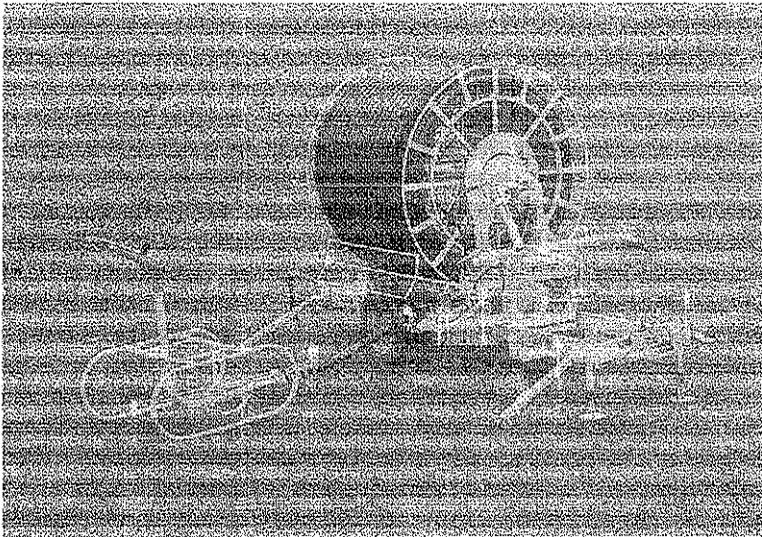


FIGURA 2. Esquema de un carrete con aspersor.

Estos aspersores trabajan normalmente a presiones que van de 0,4 a 1,0 MPa, con descargas de 20 a 170 m³/h, y pueden regar bandas de más de 100 m de ancho por 500 m de largo (5 ha) por postura. La pluviometría suele variar entre 5 a 35 mm/h. El aspersor es arrastrado por su propia manguera flexible de polietileno por la que recibe el agua a presión. La manguera se enrolla en un tambor que es accionado por el flujo de agua a través de un mecanismo de turbina.

Para efectuar el riego se desenrolla la manguera tirando del carro porta aspersor con ayuda de un tractor, hasta situarlo justo al borde del sector, tras lo cual puede comenzar el riego. Un inconveniente adicional de estas máquinas, es que la velocidad de avance del aspersor puede ser irregular si no posee un sistema de ajuste de la velocidad de giro del tambor, tanto por variación del diámetro del carrete donde se va enrollando la tubería como por variación del peso de la manguera arrastrada, lo que puede alterar la uniformidad del riego.

Carrete con Alas Sobre Carro. Las alas sobre carro son sistemas muy interesantes por su gran movilidad y adecuación a diferentes condiciones de superficies y cultivos, sustituyendo en buena medida a los carretes con aspersores, por sus problemas de elevada presión de trabajo, tamaño de gota y distorsión por el viento. Pueden considerarse como una variante de las máquinas anteriores, en donde se sustituye el aspersor por una ala con emisores, que se sustenta sobre el carro y cuyo mecanismo de movimiento es igual al anterior. Estas alas pueden trabajar a muy baja presión, con toberas, difusores o aspersores de baja presión (0,2 – 0,25 MPa). También pueden equiparse con tubos colgantes que llevan difusores en su extremo y trabajan a 0,05 MPa. En la Figura 3 se muestran el funcionamiento en terreno de alas sobre carro.

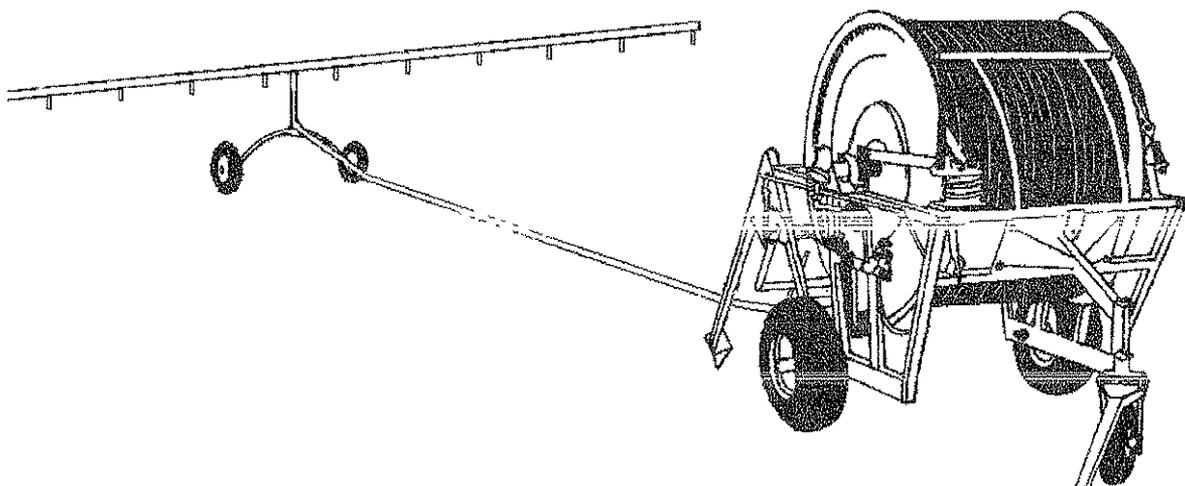


FIGURA 3. Funcionamiento de alas sobre carro.

En general, con estas alas se obtiene mejor uniformidad en la distribución del agua que con el carrete con aspersor, además de trabajar a menor presión y no tener problemas de tamaño de gotas. La velocidad de aplicación debe estar bien calculada para no producir escorrentía, ya que tienen un ancho de trabajo que varía entre 20 y 80 m, obligándolas bajo ciertas condiciones a aplicar pequeñas dosis de riego, teniendo que aumentar la frecuencia de riego en comparación con los aspersores. A pesar de que las alas resultan atractivas en un principio, hay que decir que necesitan más mano de obra que los carretes con aspersores, además de una mayor inversión inicial.

IV. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ASPERSORES.

Los aspersores deben distribuir el agua uniformemente sobre el suelo sin producir escurrimiento o excesiva lixiviación o percolación.

4.1 Caudal de un aspersor.

La descarga de un aspersor está dada por la expresión:

$$q_{asp} = \sum_{i=1}^n K_i A_i H_i^{0.5} \quad (\text{Ec } 2)$$

en donde

- q_{asp} = Descarga del aspersor ($L^3 T^{-1}$). Usualmente lt^*s^{-1}
- K = Coeficiente que depende de la forma y rugosidad del orificio de salida de la boquilla i
- A = Area de la abertura de la boquilla i (L^2). Usualmente cm^2
- H = Presión de operación del aspersor en la boquilla i ($ML^{-1}T^{-2}$). Usualmente mca, kg/cm^2 , bar
- X = Exponente de la boquilla. Usualmente 0.5
- n = Número de boquillas en el aspersor

La forma más común de la boquilla es la circular, aun cuando ocasionalmente se fabrican boquillas rectangulares o ranuradas, para mejorar la distribución del agua.

4.2 Diámetro de mojadura.

El espaciamiento entre aspersores adyacentes depende en parte de la distancia de alcance del agua arrojada por el aspersor. Esta distancia es afectada por la presión de trabajo del aspersor, la cual afecta directamente la velocidad de salida del agua a través de la boquilla. Además, el diámetro de mojadura es afectado por el diseño de la paleta, la presión del resorte de ajuste y el ángulo de la boquilla.

En general, se puede decir que el alcance del agua aumenta sí:

- La presión aumenta en boquillas cuyo diseño permite crear gotas de mayor tamaño (gotas grandes pueden alcanzar mayores distancias)
- El diámetro de la boquilla aumenta
- El ángulo de elevación se eleva a partir de la horizontal. Sin embargo, logrado un valor óptimo de elevación, sucesivos incrementos en el ángulo de elevación implicarán una reducción en el alcance de la gota de agua.

4.3 Patrón de distribución del agua.

La manera en que el aspersor distribuye el agua es consistente para una determinada presión de trabajo, tipo de boquilla y viento.

Así, el patrón de distribución del agua es afectado por muchos factores, entre los cuales, la presión de trabajo de los aspersores es de gran importancia (Figura 4). A bajas presiones el agua es fragmentada en gotas de gran tamaño y la proveniente de la boquilla cae en forma de anillo a cierta distancia del aspersor, obteniéndose una distribución deficiente. A presiones muy altas el fragmento de la gota muy fina cae alrededor del aspersor. En estas condiciones el patrón de humedecimiento puede tomar muchas formas por corrientes de aire.

Cuando el aspersor trabaja a presión de diseño, produce un humedecimiento normal.

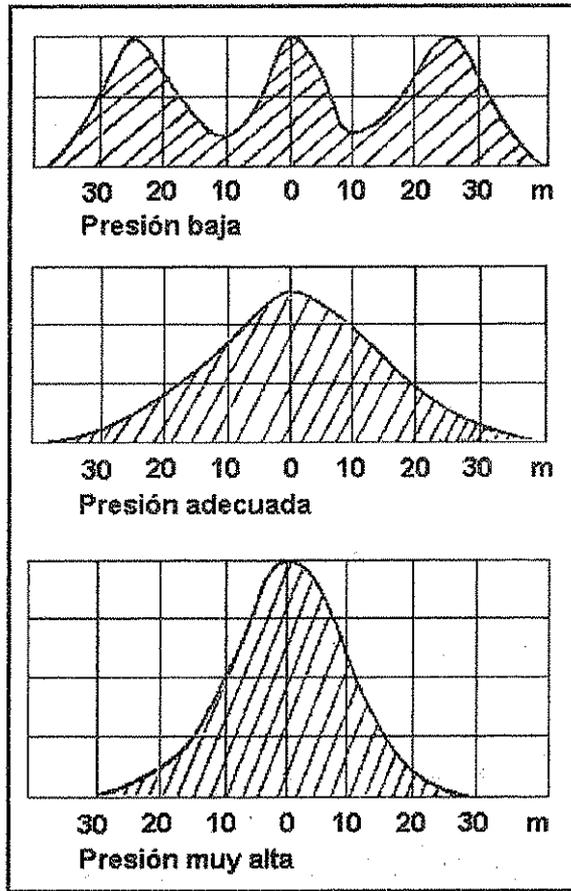


FIGURA 4. Distribución de agua de un aspersor en relación a la presión de trabajo.

El patrón de distribución de los aspersores tiene un importante rol en la distribución del agua. Los aspersores pueden ser ordenados en el campo en forma triangular, cuadrado o rectangular (Figura 5). La mejor distribución de la precipitación se obtiene con el espaciamiento triangular. Pero dicho ordenamiento tiene la gran dificultad cuando se traslada a una nueva posición. Para el espaciamiento entre los aspersores de acuerdo al ordenamiento:

Rectangular o cuadrado : radio mojadura * $\sqrt{2}$

Triangular : radio mojadura * $\sqrt{3}$

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos aplica el criterio de 50% del diámetro de espaciamento entre laterales. (Para condiciones óptimas de funcionamiento).

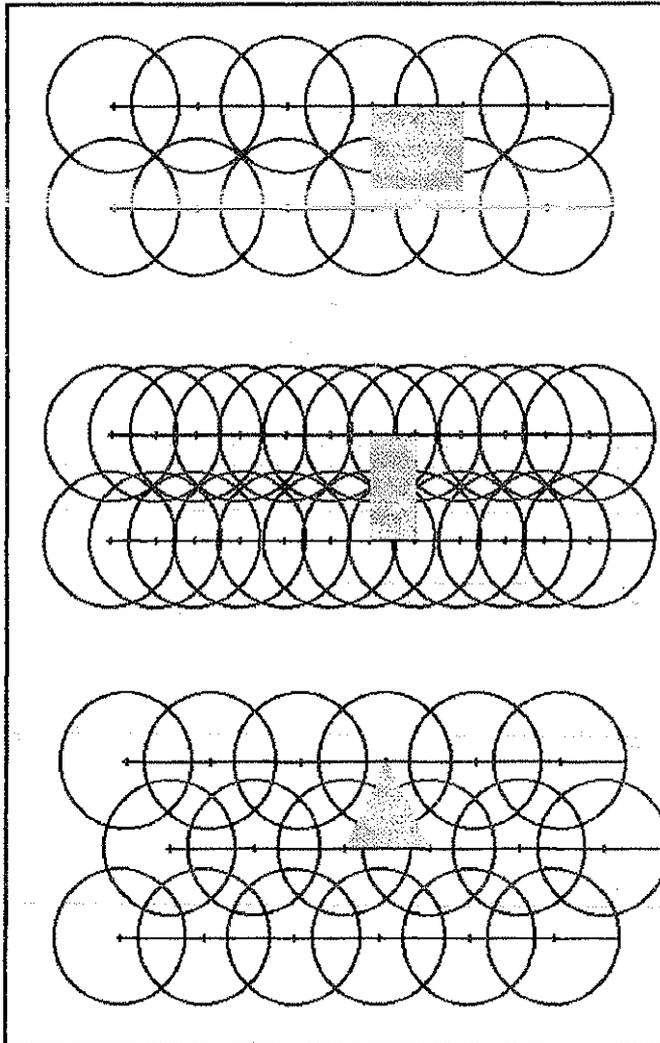


FIGURA 5. Patrones de distribución de aspersores y laterales, según arreglo cuadrado, rectangular y triangular.

V FACTORES QUE ALTERAN UNA ADECUADA APLICACIÓN DE AGUA CON SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION

5.1 Acción del Viento.

La velocidad y dirección del viento son los principales factores que influyen en el riego por aspersión. La velocidad del viento se incrementa con la altura, por lo que en el diseño del sistema el aspersor debe ubicarse lo más bajo posible, en función de la altura de los cultivos a regar. El viento también afecta la selección del ángulo de descarga de los aspersores, que en su mayoría son de 25° a 27° en lugar de los 32° que sería el ángulo ideal en ausencia del viento.

Otro aspecto que se considera en el diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión como función del viento es el espaciamiento entre aspersores, recomendándose separaciones del 60% del diámetro efectivo del aspersor para marcos cuadrados o en triángulo, y el 40% y 75% para marcos rectangulares en condiciones de vientos menores de 7 km/h. También la disminución del espaciamiento entre aspersores es función de la velocidad del viento. Esta disminución va desde 30 a 60% con velocidades del viento que fluctúan entre 16.0 y 6.4 km/h respectivamente. A continuación se entregan espaciamientos en función del viento:

| Viento (km/hr) | Espaciamiento |
|----------------|------------------|
| 4-6 | 60% del diámetro |
| 8-12 | 50% del diámetro |
| 16-20 | 30% del diámetro |

Otra condición que se debe considerar en el manejo del sistema es la frecuente reducción de la velocidad del viento por la noche. Esto aconsejaría alternar el riego diurno y nocturno de cada zona para aumentar la uniformidad de reparto acumulada de varios riegos.

5.2 *Pérdidas de Agua por Evaporación.*

Las pérdidas por evaporación desde un sistema de riego por aspersión pueden ser reducidas cambiando las condiciones de operación del aspersor para aumentar el tamaño de las gotas de agua, o regando cuando las condiciones climáticas de demanda sean bajas.

El porcentaje de evaporación aumenta cuando se usan boquillas de pequeño diámetro. Por el contrario, se reduce cuando el tamaño de las boquillas aumenta y los otros factores se mantienen constantes.

Las pérdidas por evaporación pueden reducirse al regar sólo cuando las condiciones de demanda climática son bajas. Esto significa operar los aspersores cuando la humedad relativa es alta y la temperatura del aire y velocidad del viento son bajas. En cualquier caso, el efecto de las pérdidas por evaporación en el proceso de aplicación de agua por aspersión es pequeño, en relación con la distorsión de la uniformidad que produce el viento e, incluso, con el efecto sobre la estructura del suelo por el impacto de la gota.

VI. TASA DE APLICACIÓN DE AGUA.

La velocidad de aplicación (VA) de agua debe considerar aspectos de suelo, cultivo, pendiente y otros.

6.1 *Aspersión individual.*

VA se calcula como:

$$VA = K \frac{q_{asp}}{A} \quad (\text{Ec. 3})$$

en donde VA = Velocidad de aplicación, en mm/hr
 q_{asp} = descarga del aspersor, en lt/s
 A = Área mojada por el aspersor, en m^2
 K = Factor de conversión, que depende de las unidades utilizadas. Para el caso expuesto es igual a 3600

6.2 *Aspersores en arreglo rectangular.*

El cálculo de la velocidad de aplicación, VA , para aspersores iguales puestos en un arreglo rectangular es la siguiente:

$$VA = K * \frac{q}{A} \quad (\text{Ec 4})$$

En donde A corresponde al área cubierta por el espaciamiento entre aspersores a lo largo del lateral (S_a) y el espaciamiento entre laterales (S_l). Así,

$$A = S_a * S_l \quad (\text{Ec. 5})$$

K = Factor de conversión

6.3 *Promedio de aplicación del agua a lo largo del área cubierta por el lateral*

(VAL) se estima a partir de:

$$VAL = K * \frac{Q_l}{L_l * S_l} \quad (\text{Ec. 6})$$

en donde Q_l = Caudal de entrada al lateral (lt^*s^{-1})
 L_l = Largo del lateral (m)
K = Factor de conversión

6.4 *Tamaño de la gota*

La cantidad de energía cinética liberada debido al impacto de la gota de lluvia en la superficie del suelo está directamente relacionada al tamaño de la gota. Esta energía cinética causa sellamiento superficial y reducción en la tasa de infiltración del agua en el suelo. Así, mientras mayor es la energía de impacto, mayor es el efecto de sellamiento del suelo.

La magnitud del sellamiento depende de la textura del suelo, estructura, cantidad y tipo de cubierta vegetal y tasa de aplicación. Para suelos de textura arenosa, el sellamiento superficial no constituye un problema. Sin embargo, el sellamiento ocurre más a menudo en suelos de textura media y arcillosa, debido fundamentalmente a la débil estructura de los suelos, lo cual causa una fácil dispersión de las agregadas (Figura 6).

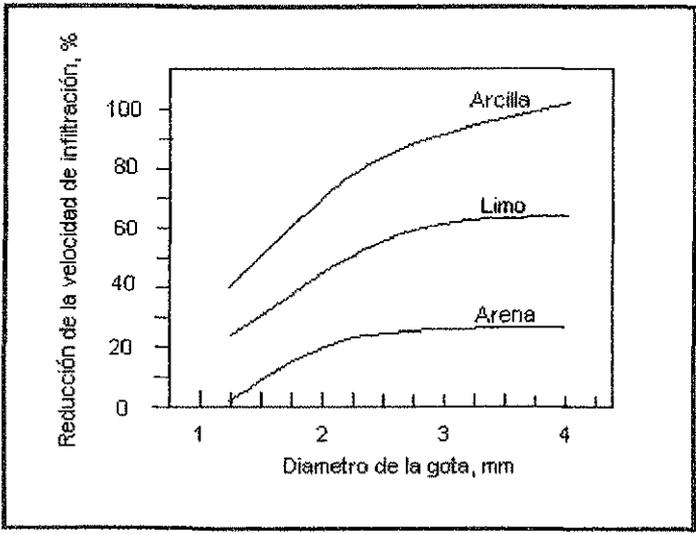


FIGURA 6. Reducción en la velocidad de infiltración de un suelo según textura y diámetro de la gota de agua.

En general, se puede decir que:

- Si se aumenta la presión de trabajo de los aspersores, el tamaño de la gota disminuye
- Para reducir el sellamiento superficial y el consiguiente escurrimiento, se debe reducir tanto el tamaño de la gota como la velocidad de aplicación del agua
- Para evitar distorsión en el patrón de mojado, debe incrementarse el tamaño de la gota
- El tamaño de la gota disminuye a medida que el tamaño de la boquilla disminuye.

6.5 Tasa de aplicación permisible.

El escurrimiento ocurre si la tasa de aplicación (VA) del agua es mayor que la tasa de infiltración (VI), y después que el volumen aplicado ha superado el almacenamiento de las depresiones superficiales en el suelo.

Un primer caso es aquel en donde la tasa de aplicación es mayor que la velocidad de infiltración a cualquier tiempo. Así a $t > t_1$ el agua se acumulará sobre la superficie del suelo, siendo posible el escurrimiento superficial (Figura 7).

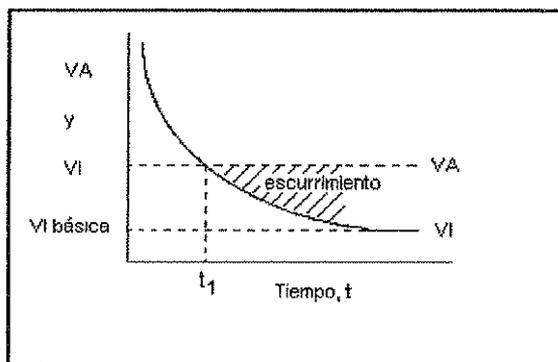


FIGURA 7. Relaciones de velocidad de aplicación del agua (VA), velocidad de infiltración del agua en el suelo (VI) y tiempo.

Un segundo caso correspondería cuando VA es menor que la velocidad de infiltración básica, resultando en la no ocurrencia de escurrimiento (Figura 8). Esta situación es definida para sistemas con largos tiempos de aplicación de agua. Debe en todo caso, considerarse el efecto del sellamiento superficial en la reducción de VI.

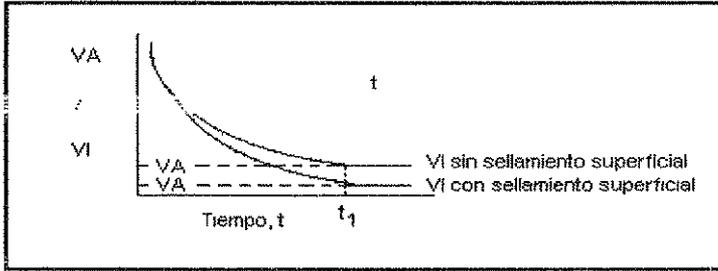


FIGURA 8. Relaciones de velocidad de aplicación del agua (VA), velocidad de infiltración (VI) y tiempo.

Así, si una tasa de aplicación de agua no es la adecuada, podría ocurrir escurrimiento a $t > t_1$.

Una tercera situación corresponde a la tasa de aplicación del agua cuando se usa el pivote central. Si se define dos puntos, a lo largo de la tubería del pivote A y B, que corresponden al lugar en donde el lateral aplicará el agua, el punto B tendrá una mayor tasa de aplicación que A (Figura 9).

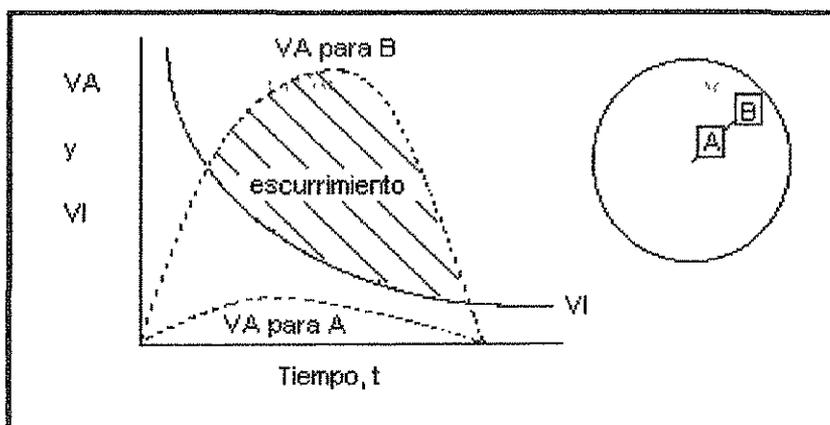


FIGURA 9. Relaciones de velocidad de aplicación del agua (VA), velocidad de infiltración (VI) y tiempo, para el punto A y punto B ubicados a lo largo del pivote. Las áreas A y B son iguales.

De este modo se observa que la tasa de aplicación de agua del sistema al pasar por el punto B, excede la tasa de infiltración del suelo.

6.6 *Relación de Guilley*

Una metodología que permite establecer la máxima intensidad de pluvimetría que se puede ser aplicada, en función de la altura de agua a infiltrar, o el almacenamiento superficial y la velocidad de infiltración, fue desarrollada por Guilley, en 1984.

El primer paso consiste en determinar el almacenamiento superficial permisible, según pendiente del suelo (Tabla 2).

TABLA 2. Almacenamiento superficial permisible (ASP) según pendiente del suelo.

| Pendiente (%) | ASP (mm) |
|--------------------------|---------------------|
| 0-1 | 12.7 |
| 1-3 | 7.6 |
| 3-5 | 2.5 |

El segundo paso es estimar la familia número de velocidad de infiltración, acorde al Servicio de Conservación de Suelos de USA, a través de la ecuación de velocidad de infiltración del tipo Kostiakov.

$$V_t = a t^b \quad (\text{Ec } 7)$$

- en donde VI = Velocidad de infiltración del suelo (mm/hr)
 T' = Tiempo transcurrido desde el comienzo de la infiltración
 a, b = Constantes obtenidas a partir del modelo de Kostiakov

Los valores a, b para las familias números de VI 0.1, 0.3, 0.5 y 1 se muestran en la Tabla 3

TABLA 3. Valores de a y b de la ecuación para familias de infiltración.

| Familia número | a | b |
|-----------------------|----------|----------|
| 0.1 | 6.83 | -0.485 |
| 0.3 | 15.16 | -0.381 |
| 0.5 | 21.77 | -0.340 |
| 1.0 | 36.59 | -0.305 |
| 1.5 | 47.90 | -0.290 |

Estimado el número de familia de infiltración del suelo, y conocida la máxima altura de agua a aplicar, se determina la máxima tasa de aplicación del equipo utilizando la curva apropiada en la Figura 10.

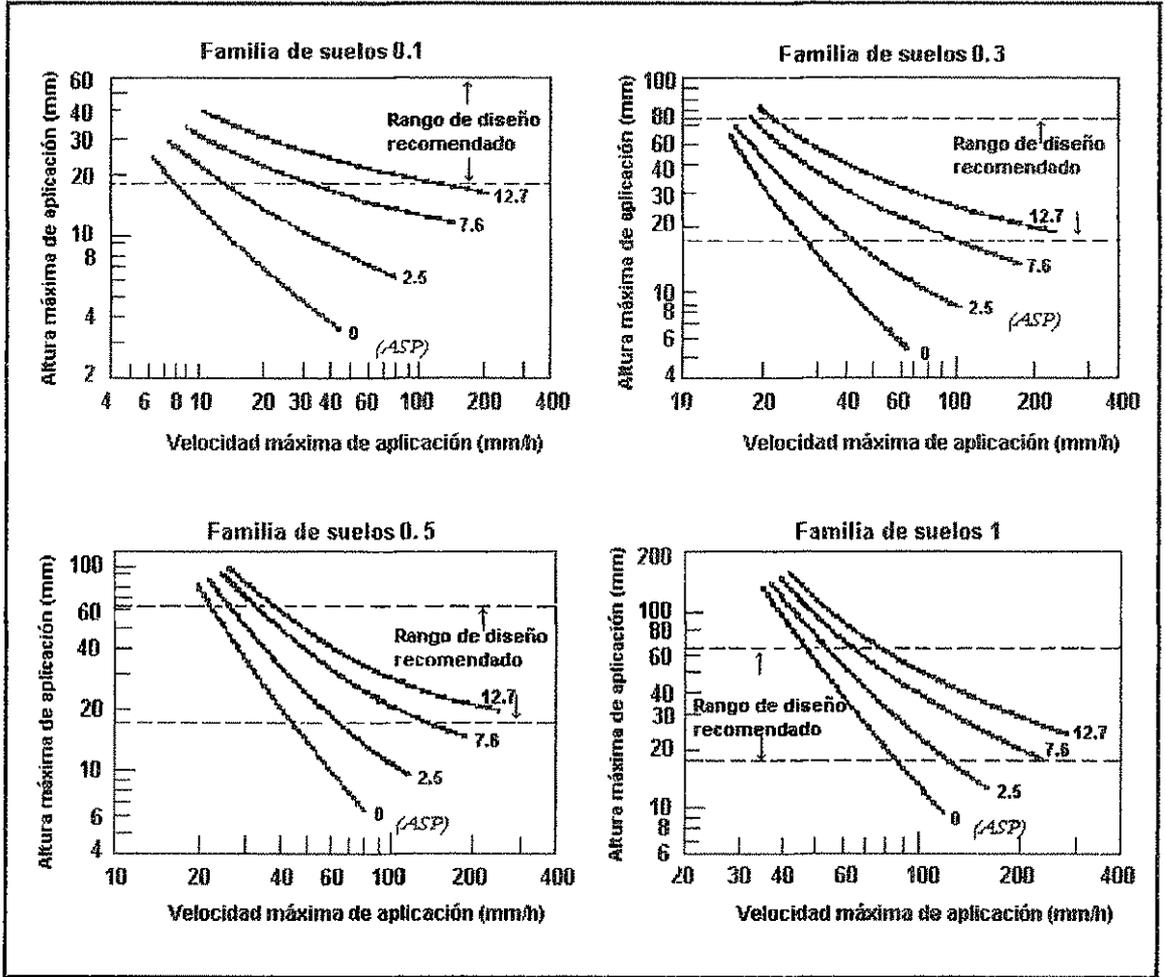


FIGURA 10. Máxima altura de agua a aplicar y máxima intensidad de aplicación para pivote central y sistemas del riego continuo para familias número de infiltración 0.1, 0.3, 0.5 y 1.0 del Servicio de Conservación de Suelos, USA, según almacenamiento superficial permisible (ASP) de 0, 2.5, 7.6 y 12.7 mm.

Así, por ejemplo, para un sistema de pivote central, que riega un suelo con pendiente del 4%, familia número de infiltración 1.0, y altura de agua a reponer de 30 mm, la tasa máxima de aplicación del agua del equipo correspondería a 80 mm/hr.

6.7 *Otros parámetros de rendimiento.*

Angulo de elevación, tamaño de la gota, alcance y patrón de aplicación son seleccionados acorde a:

- 6.7.1 Angulo de elevación
- Bajo: Areas de alta velocidad de viento
 - Alto: Cultivos altos
- 6.7.2 Tamaño de la gota
- Fina: Suelos desnudos, para no producir sellamiento superficial del suelo
 - Gruesa: Condiciones de alta velocidad de viento
- 6.7.3 Alcance
- Largo: Para tasas de aplicación bajas y/o grandes espaciamientos entre aspersores
 - Corto: Para altas tasas de aplicación
- 6.7.4 Patrones de aplicación
- Triangular: Recomendables para muchos tipos de aspersores
 - Irregulares: Para sistemas de movimiento continuo. También para sistemas instaladas bajo árboles.

VII. PLANIFICACION DE UN PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSION

Para establecer un riego por aspersión es necesario cumplir una serie de etapas. A continuación se enumeran las etapas y cálculos requeridos en cada una de ellas con el objeto de realizar una adecuada planificación del método.

7.1 *Inventario de los recursos disponibles*

En lo referente a suelos, topografía, abastecimiento de agua, evapotranspiración y programa de administración, resulta conveniente disponer de información que permita efectuar un acabado análisis antes de implementar el proyecto.

En lo relacionado al suelos, es importante tener antecedentes de velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua y profundidad. La topografía entrega las características del relieve y las variaciones de nivel en cada sector. El plano topográfico debe estar con curvas de nivel a lo menos cada 50 cm. La energía disponible indicará el tipo de equipos que es posible utilizar, como por ejemplo electricidad o combustible; para la selección del motor.

El cultivo debe dar las bases para la programación de riego (Frecuencia, tiempo de riego) y los períodos críticos en que el riego por aspersión pueden causar problemas sanitarios. Finalmente, el programa administrativo debe dar los antecedentes de mano de obra, en cuanto a disponibilidad y calidad y el tipo de operación que realizará con el equipo.

7.2 *Determinar la cantidad de agua a reponer en cada riego (Criterio 50% H.A.)*

$$H = \frac{(CC - PMP)}{100} * da * Pr * 0.5 \quad (\text{Ec } 8)$$

donde H = Lámina de agua a reponer, en cm

CC = Capacidad de Campo, en porcentaje

PMP = Punto de Marchitez en porcentaje

da = Densidad aparente del suelo en g cm³

Pr = Profundidad de la estrata de suelo, en cm

7.3 *Establecer la frecuencia de riego por mes*

$$F.R. = \frac{H}{Et_r} \quad (\text{Ec. } 9)$$

donde F.R. = Frecuencia de riego, en días

Et_r = Evapotranspiración real del cultivo, en cm día⁻¹

7.4 *Capacidad del Sistema.*

La capacidad del sistema se puede determinar conociendo la frecuencia de riego en el mes más crítico, las horas diarias de funcionamiento u operación del equipo, la cantidad a reponer de agua de la zona radicular del cultivo (lámina a reponer) y el área que se va a regar, por aspersión. La determinación se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{A * H * 100}{(F.R.) * Ht} \quad (\text{Ec.10})$$

- donde q = Caudal en $\text{m}^3 \text{ hora}^{-1}$
 A = Area a regar, en m^2
 F.R. = Frecuencia de riego, en días
 Ht = Tiempo disponible para riego, en horas día⁻¹

7.5 *Determinar la velocidad de aplicación de los aspersores.*

Para ello se debe conocer la velocidad de infiltración del suelo. Numerosos investigadores sugieren que la velocidad de aplicación debe ser menor a la velocidad de infiltración básica, para no provocar escurrimiento ni apozamiento. Otros investigadores consideran que la velocidad de aplicación debe ajustarse a los tiempos de riego, iterando para encontrar dicho valor.

7.6 *Determinar el espaciamiento entre aspersores.*

El espaciamiento entre aspersores es de gran importancia para la uniformidad de aplicación y el costo del equipo; por lo que es necesario estimarlo de la mejor forma posible considerando el viento, la velocidad de aplicación y variación de presión producto de las condiciones topográficas. En general, los fabricantes entregan el espaciamiento óptimo de los aspersores para cada tipo de ellos.

El caudal que entrega el aspersor para el espaciamiento dado será:

$$q = S_l * S_a * VA \quad (\text{Ec.11})$$

donde q = Gasto en $m^3 \text{ hora}^{-1}$

S_l = Espaciamiento entre laterales, en m

S_a = Espaciamiento entre aspersores en m

VA = Velocidad de aplicación, en m hora⁻¹

7.7 *Determinar el tipo de aspersor*

Con los antecedentes de velocidad de aplicación, caudal y espaciamiento sugerido se procede a la selección de los aspersores basado en los catálogos dados por el fabricante.

7.8 *Número de aspersores (NA)*

El número de aspersores mínimo requerido se determina considerando el área que debe ser regada en forma simultánea. Para ello es necesario conocer la frecuencia de riego, el área total bajo riego (A_t), el tiempo de riego por postura (Tr) y el tiempo de cambio (Tc).

Así, el número de posturas (NP) por día será función del tiempo disponible para riego en el día (Ht) y de los tiempos que se emplean en riego por postura y en cambiar el equipo:

$$NP = \frac{Ht}{Tr + Tc} \quad (\text{Ec.12})$$

El área mínima a regar por postura (A_m) se determina a partir del área total bajo riego (A_t), la frecuencia de riego (F.R.) y el número de posturas (NP):

$$A_m = \frac{A_t}{F.R. * NP} \quad (\text{Ec.13})$$

De esta manera el número de aspersores requeridos será:

$$NA = \frac{Am}{As} \quad (\text{Ec.14})$$

donde As es el área que cubre cada aspersor o el área dada entre aspersores y laterales.

Las unidades de área son en metros cuadrados. El número de aspersores determinados de la manera expuesta es para sistemas de tipo móvil o semimóvil; en el caso de un sistema fijo el número de aspersores se determina:

$$NA = \frac{At}{As} \quad (\text{Ec.15})$$

7.9 Distribución y diámetro de tuberías

Para la distribución de la tubería principal, secundaria y lateral se deben considerar factores topográficos, ubicación de la unidad de bombeo y la forma del área a regar.

El diámetro de las tuberías se debe determinar en base a los caudales que deben transportar, las pérdidas de carga permisible y la distribución de las unidades que están funcionando en forma simultánea. Es necesario considerar en la selección del diámetro de las tuberías la relación costo-tubería/costo-operación o de energía.

7.9.1 Pérdidas de fricción permisibles a lo largo del lateral (H_{fa}).

Se debe seleccionar un valor para las pérdidas por fricción en el lateral que minimicen la variación de presión a lo largo del lateral.

a. Laterales en terreno sin pendiente

$$H_{fa} \leq 0.20 P_a \quad (\text{Ec.16})$$

en donde P_a corresponde a la presión de operación de diseño promedio del aspersor.

Acorde a la recomendación de Keller, la presión promedio debiera ocurrir en la mitad del lateral, en donde $\frac{3}{4}$ del total de pérdidas por fricción ocurre en el trayecto de la primera mitad del lateral (Figura 11).

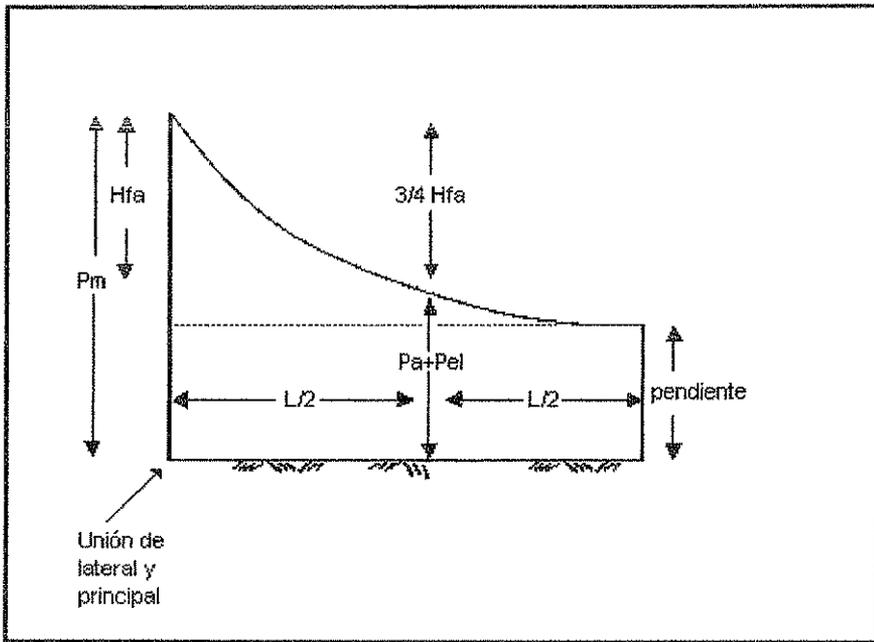


FIGURA 11. Esquema de presiones P en un suelo plano

P_m = Presión en la conexión de tubería principal y lateral (dentro del lateral)

H_{fa} = Pérdidas por fricción en el lateral

P_{end} = Presión al final del lateral

P_a = Presión en el aspersor

L = Largo del lateral

P_{el} = Altura del elevador

De este modo:

$$P_m = P_a + 3/4 Hf_a \quad (\text{Ec. 17})$$

$$P_{\text{end}} = P_m - P_f \quad (\text{Ec. 18})$$

b. Laterales en pendiente arriba

$$Hf_a \leq 0.20 P_a - P_e \quad (\text{Ec. 19})$$

en donde P_e corresponde a las pérdidas de presión debido a la elevación del terreno (Figura 12).

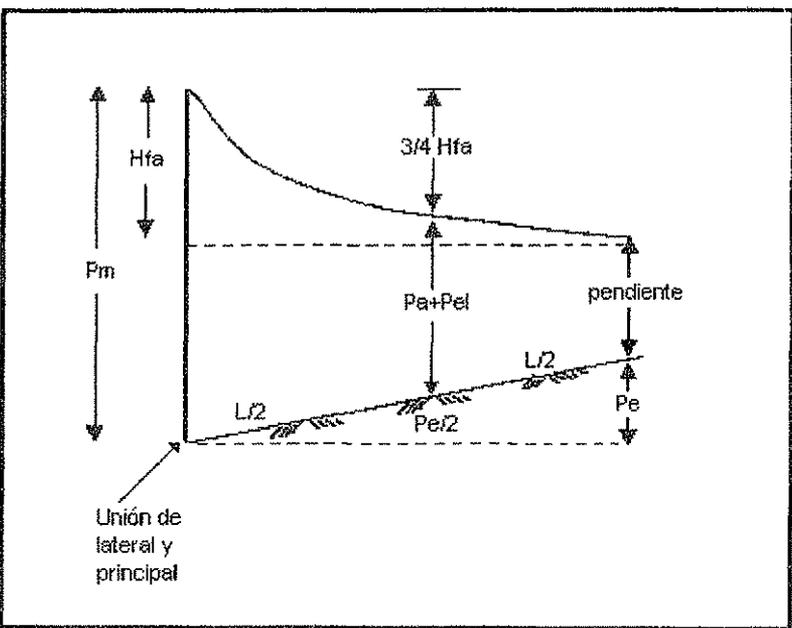


FIGURA 12. Esquema de presiones P en un suelo con trazado del lateral pendiente arriba.

| | |
|-----------|--|
| P_m | = Presión en la conexión de tubería principal y lateral (dentro del lateral) |
| $11f_a$ | = Pérdidas por fricción en el lateral |
| P_{end} | = Presión al final del lateral |
| P_a | = Presión en el aspersor |
| P_{el} | = Altura del elevador |
| L | = Largo del lateral |
| P_e | = Pérdida de presión por elevación del terreno |

De este modo:

$$P_m = P_a + \frac{3}{4} Hf_a + \frac{P_e}{2} + P_{el} \quad (\text{Ec. 20})$$

y

$$P_{end} = P_m - 11f_a - P_e \quad (\text{Fig. 21})$$

c. Laterales pendiente abajo

$$Hf_a \leq 0.20 P_a + P_e \quad (\text{Ec. 22})$$

en donde P_e corresponde a la ganancia de presión por diferencia de cota (Figura 13).

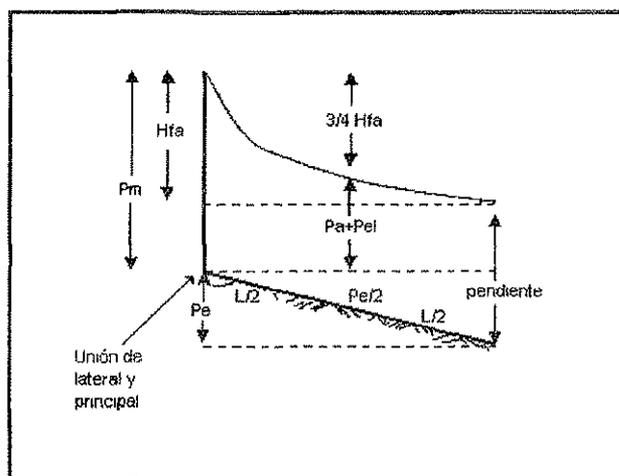


FIGURA 13. Esquema de presiones P en un suelo con trazado del lateral pendiente abajo.

| | |
|-----------|--|
| P_m | = Presión en la conexión de tubería principal y lateral (dentro del lateral) |
| Hf_a | = Pérdidas por fricción en el lateral |
| P_{end} | = Presión al final del lateral |
| P_a | = Presión en el aspersor |
| P_{el} | = Altura del elevador |
| L | = Largo del lateral |
| P_e | = Pérdida de presión por elevación del terreno |

De este modo:

$$P_m = P_a + \frac{3}{4} Hf_a - \frac{P_e}{2} + P_{el} \quad (Ec. 23)$$

$$P_{end} = P_m - Hf_a + P_e \quad (Ec. 24)$$

Si $P_e > 0.4 P_a$, se debe minimizar la variación de presión a lo largo del lateral reduciendo el diámetro de la tubería.

d. Salidas múltiples

La estimación de las pérdidas de carga en el lateral debe considerar la existencia de salidas múltiples, lo cual implica que el mayor flujo de agua ocurre en los primeros tramos de la tubería. Así, par tuberías con salidas múltiples de caudal constante e igualmente espaciados, se debe calcular un factor F de reducción de fricción en un lateral sellado al final.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (Ec. 25)$$

N = número total de aspersores (salidas) en el lateral

$m = 1.852$

De este modo, las pérdidas de carga o fricción en lateral (Hf_l) se determinan como:

$$Hf_l = J * L * F \quad (\text{Ec. 26})$$

en donde

Hf_l = Pérdida de energía o carga producto de la fricción (m)

J = Pérdidas de carga por cada metro de lateral (m)

L = Longitud de la tubería desde la conexión a la tubería principal hasta el punto de salida del último aspersor (m)

Las pérdidas de carga pueden estimarse a partir de la ecuación de Hazen y Williams (Ec. 4, Capítulo Hidráulica de Tuberías). Los valores de F pueden encontrarse tabuladas en la Tabla 4. Se debe considerar que el valor de Hf_l debe corresponder al valor deseado de pérdidas de fricción permisible a lo largo del lateral (Hf_l).

Tabla 4. Valores de F a) cuando la distancia al primer aspersor desde la conexión a la tubería matriz es igual al espaciamiento entre aspersores; y b) cuando la distancia al primer aspersor desde la conexión a la tubería matriz es igual a la mitad del espaciamiento normal entre aspersores.

| Número de salidas | a | b |
|-------------------|-------|-------|
| 1 | 1.0 | 1.000 |
| 2 | 0.639 | 0.518 |
| 3 | 0.535 | 0.441 |
| 4 | 0.486 | 0.412 |
| 5 | 0.457 | 0.397 |
| 6 | 0.435 | 0.387 |
| 7 | 0.425 | 0.381 |
| 8 | 0.415 | 0.377 |
| 9 | 0.409 | 0.374 |
| 10 | 0.402 | 0.371 |
| 11 | 0.397 | 0.369 |
| 12 | 0.394 | 0.367 |
| 13 | 0.391 | 0.366 |
| 14 | 0.387 | 0.365 |
| 15 | 0.384 | 0.364 |
| 16 | 0.382 | 0.363 |
| 17 | 0.380 | 0.362 |
| 18 | 0.379 | 0.361 |
| 19 | 0.377 | 0.361 |
| 20 | 0.376 | 0.360 |
| 22 | 0.374 | 0.359 |
| 24 | 0.372 | 0.359 |
| 26 | 0.370 | 0.358 |
| 28 | 0.369 | 0.357 |
| 30 | 0.368 | 0.357 |
| 35 | 0.365 | 0.356 |
| 40 | 0.364 | 0.355 |
| 50 | 0.361 | 0.354 |
| 100 | 0.356 | 0.353 |
| Más de 100 | 0.351 | 0.352 |

7.10 Selección de Equipo de Bombeo y Unidad de Fuerza Motriz.

La selección del equipo de bombeo se basa en el caudal requerido y la altura dinámica total. La altura dinámica total se determina de la sumatoria de pérdidas de carga en la posición crítica, las diferencias de elevación con la fuente de agua y la presión requerida por el aspersor.

En base a dichos antecedentes se selecciona el equipo de bombeo óptimo desde las diferentes opciones dadas por los fabricantes, considerando la mayor eficiencia del equipo.

La potencia del motor (HP o KW) se determina entonces desde:

$$HP = \frac{QH}{75 * \eta} \quad (\text{Ec. 27})$$

o bien

$$KW = \frac{Q * H}{102 * \eta} \quad (\text{Ec. 28})$$

donde HP = Potencia consumida por la bomba (o potencia en el eje de la bomba), (HP).

KW = Potencia consumida por la bomba (o potencia en el eje de la bomba),
(kilowatts)

Q = Caudal elevado (l/s)

H = Carga total o dinámica (m)

η = Eficiencia de la bomba, $0 < \eta < 1$

Observación: 1 HP = 745 Watts

VIII. DISEÑO DE RIEGO POR ASPERSION

A continuación se entrega un ejemplo general de diseño y distribución de un equipo de riego por aspersión, para un sistema de varias propiedades pequeñas. Dicho análisis se puede utilizar como ejemplo para un predio con varios potreros a regar (Figura 14).

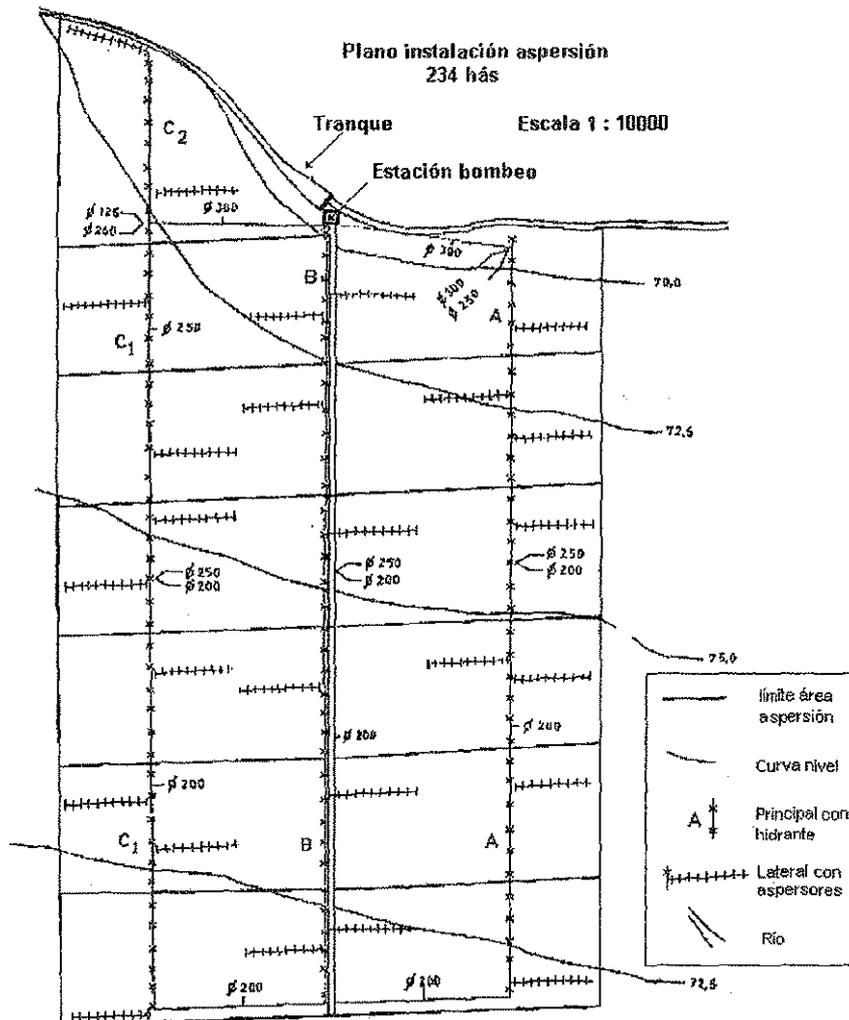


FIGURA 14. Plano general de un sistema de riego por aspersión multiusuario.

Se ha incluido un ejemplo de este método de riego presurizado para este curso porque es el que presenta mayor adaptación en esta zona.

Ejemplo

Plan cooperativo de instalación de un equipo de riego por aspersión para 234 ha.

Las instalaciones requieren suplir de agua a 13 propiedades de 18 ha cada una. La capacidad deseada de instalación es de 3 a 3.5 m³/hr/ha. El agua se obtendrá de un pequeño río.

Las tuberías estacionarias que van enterradas están espaciadas a 400 metros y el espaciamiento de los hidrantes (conexión al lateral) es de 48 metros en la línea. El terreno es ondulado, que debe ser considerado en el cálculo de pérdidas de carga. La menor presión no ocurre al final de la línea principal, sino en la curva del nivel de 75.0 metros. Desde ahí, la presión aumenta porque las pérdidas de carga son menores que el aumento de presión resultante por la variación de cota.

Los terminales de las líneas A, B y C han sido conectados de manera de formar un doble anillo.

Cada parcela tiene dos laterales de 198 metros de longitud y 76 mm de diámetro, que tiene un espaciamiento de 24 metros. Cada lateral está implementado con 11 aspersores espaciados a 18 metros. Los aspersores tienen una boquilla de 6 mm de diámetro y una descarga de 2.7 m³/hr, a una presión de trabajo entre 3.5 y 4.0 atm. La capacidad por parcela es de 60 m³/hr, ó 3.3 m³/hr/ha, lo que está dentro de lo esperado.

Durante el período de mayor demanda estarán en funcionamiento 26 laterales con un caudal de 780 m³/hr. Los requerimientos de potencia son de 3 bombas de 260 m³/hr y 60 metros de altura dinámica, lo que da 85 HP ó 63.4 kw.

CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA.

En línea principal.

| | Pérdida de carga m | | |
|--|--------------------|--------------|-------|
| | Fricción | Dif. de cota | Total |
| Principal A, desde bomba a 1° hidratante 400 m diámetro 300 mm; $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 4.00 * 0.25$ | 1.00 | 3.00 | 4.00 |
| Desde 1° hidratante a la última línea de aspersores | | | |
| 120 m diámetro 250 mm; $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 1.20 * 0.7$ | 0.84 | 1.00 | 1.84 |
| 288 m diámetro 250 mm; $Q = 210 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.55$ | 1.58 | 1.50 | 3.08 |
| 288 m diámetro 250 mm; $Q = 150 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.3$ | 0.86 | 2.00 | 2.86 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 120 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.5$ | 1.44 | | 1.44 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 60 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.15$ | 0.43 | -1.00 | -0.57 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 30 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.04$ | 0.12 | -1.00 | -0.88 |
| Total desde 1° hidratante a última línea asp. | 5.27 | 2.50 | 7.77 |
| Desde bomba a última línea de aspersores | 6.27 | 5.50 | 11.77 |

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Principal B, desde bomba a 1° hidratante 50 m diámetro 250 mm; $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 0.50 * 0.7$ | 0.35 | 3.00 | 3.35 |
| Desde 1° hidratante a la última línea de aspersores | | | |
| 144 m diámetro 250 mm; $Q = 240 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 1.44 * 0.7$ | 1.01 | 1.50 | 2.51 |
| 288 m diámetro 250 mm; $Q = 180 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.45$ | 1.30 | 2.00 | 3.30 |
| 288 m diámetro 250 mm; $Q = 150 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.3$ | 0.86 | 1.00 | 1.86 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 120 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.5$ | 1.44 | -0.50 | 0.94 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 90 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.3$ | 0.86 | -1.00 | -0.14 |
| 288 m diámetro 200 mm; $Q = 60 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 2.88 * 0.15$ | 0.43 | -0.50 | -1.07 |
| Total desde 1° hidratante a última línea asp. | 5.90 | 2.50 | 8.40 |
| Desde bomba a última línea de aspersores | 6.25 | 5.50 | 11.75 |

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Principal C, desde bomba a 1° hidratante 400 m diámetro 300 mm; $Q = 300 \text{ m}^3/\text{hr}$; $H = 4.00 * 0.4$ | 1.60 | 5.50 | 7.10 |
| C1 Desde 1° hidrante a la última línea de aspersores como en principal A | 5.27 | -1.00 | 4.27 |
| Desde bomba última línea de aspersores | 6.87 | 4.50 | 11.37 |
| C2 Desde 1° hidrante al hidratante medio donde operan ambas líneas de aspersores 216 m diámetro 100 mm; $Q = 60 \text{ m}^3/\text{ha}$; $H = 2.16 * 1.5$ | 3.24 | -1.00 | 2.24 |
| Desde bomba a ambas líneas de aspersores | 4.84 | 4.50 | 9.34 |

SUCCIÓN Y SINGULARIDADES

| Singularidades | Díámetro mm | Descarga m ³ /hr | Velocidad m/seg | Ref. columna tabla pér. car. | Pérdida de carga m |
|--|----------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Tubo succión | | | | | |
| Entrada | 300 | 260 | 1.0 | a | 0.08 |
| Codo R= 2D | 300 | 260 | 1.0 | i | 0.01 |
| Válvula no retorno | 300 | 260 | 1.0 | e | 0.08 |
| Contrac. Gradual | 300/200 | 260 | 2.3 | g | 0.04 |
| Línea presión sobre nivel suelo | | | | | |
| Expansión gradual | 200/250 | 260 | 2.3 | f | 0.3 |
| Codo R = 2D | 250 | 260 | 1.5 | i | 0.3 |
| Válvula | 250 | 260 | 1.5 | d | 0.2 |
| Codo R = 2D | 250 | 260 | 1.5 | i | 0.3 |
| Línea principal A | | | | | |
| Te, redondeada | 250/300 | 240 | 0.9 | l | 0.04 |
| Te, redondeada | 300/250 | 240 | 1.4 | l | 0.09 |
| Contracción súbita hidrante | 250/200 | 120 | 1.1 | h | 0.2 |
| Hidratante con baja presión al nivel 75 m | | | | | |
| Qa/Q = 30/120 | 200 | 120 | 1.1 | m | 0.6 |
| Contrac. Súbita | 200/75 | 30 | 1.9 | h | 0.8 |
| Válvula | 75 | 30 | 1.9 | d | 0.4 |
| 2 codos R= 2D | 75 | 30 | 1.9 | i | 0.10 |
| Total pérdida carga singularidades | | | | | 0.75 |

CALCULOS PERDIDAS DE CARGA DESEADAS

| | Carga deseada (m) |
|---|-------------------|
| Diferencia cota bomba | 2.0 |
| Pérdidas de carga en principal al sector de baja presión (curva nivel 75 m) | 13.22 |
| De hidrante a primer aspersor | |
| De primer aspersor a aspersor 11 | 1.08 |
| Singularidades | 3.40 |
| Presión de trabajo aspersor | 0.75 |
| | 35.00 |
| Carga total a la bomba | = 55.45 |