



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA

COMISION NACIONAL DE RIEGO
CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN

RIEGO POR ASPERSIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
INIA - CARILLANCA

FEBRERO 2001

RIEGO POR ASPERSIÓN

*José María Peralta A,
Ing. Agrónomo Ph.D.*

*Christian Simpfendörfer L
Ing. Agrónomo*

Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Carillanca.

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

El riego por aspersión muestra ventajas considerables en relación al riego gravitacional en las siguientes condiciones:

- Terreno de topografía irregular.
- Suelos delgados.
- Suelos con alta velocidad de infiltración.
- Suelos susceptibles a la erosión.
- Cuando se dispone de poco caudal.

Componentes de un equipo de riego por aspersión.

Un equipo móvil de riego por aspersión se compone de cuatro unidades básicas (Figura 1):

- | | |
|----------------------|----------------|
| a) Unidad de bombeo. | c) Accesorios. |
| b) Tuberías. | e) Aspersores. |

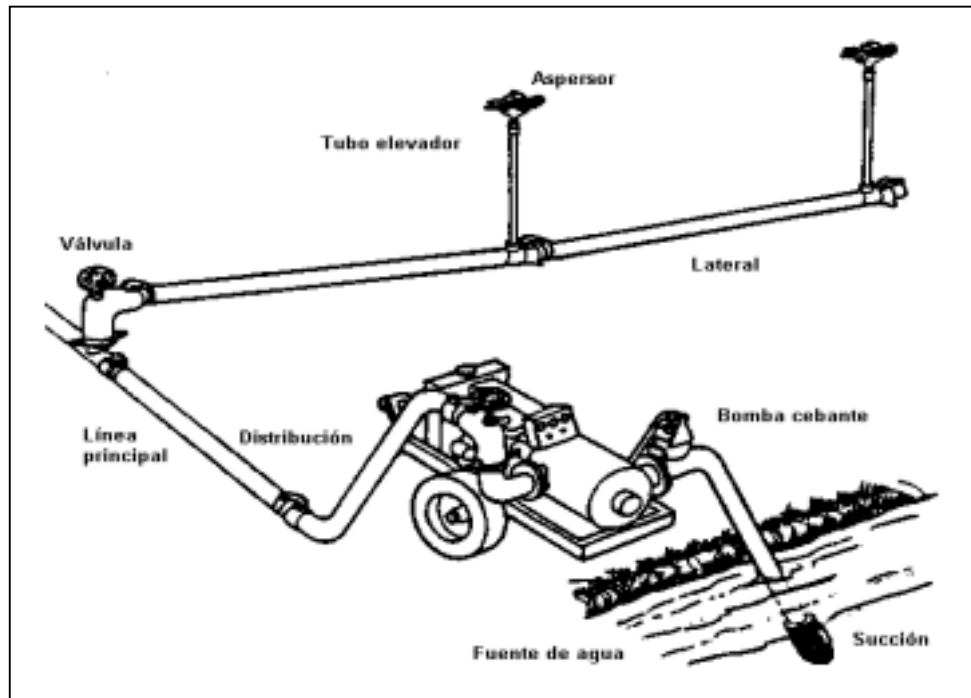


Figura 1. Componentes de un equipo de riego por aspersión.

Unidad de bombeo:

La unidad de bombeo de un sistema de riego por aspersión es una instalación con equipos de elevación mecánica, cuyo objetivo es aspirar el agua desde una fuente elegida e impulsarla a la red de tuberías.

La unidad de bombeo puede presentar los siguientes componentes:

- Cámaras de aspiración.
- Canastillo y válvulas de succión.
- Tubería de succión.
- Motobomba.
- Accesorios y fitting de descarga.

Cámara de aspiración:

Consiste en una caja de hormigón o madera sumergida en el agua, que permite mantener un nivel suficiente, y que durante el funcionamiento del equipo de bombeo evita que entre aire en la aspiración.

Dependiendo de su tamaño y de los materiales a utilizar, estas cajas se construyen de sección circular o rectangular, ubicándose alejados de los márgenes del río en un lugar protegido de sus crecidas, a unos 10 a 15 metros, conduciendo el agua mediante una zanja de aducción, para evitar la captación de arenas y otros sólidos que el río arrastra. No es recomendable colocarlas en el río o estero mismo, salvo que la ribera sea un corte vertical en roca.

Canastillo y válvula de succión:

A una distancia aproximada de 30 cm por sobre el fondo del pozo o caja de succión, se coloca suspendido un canastillo que se puede adquirir en fierro fundido. Este viene provisto de una válvula de retención (“sapo”), que permite el paso de agua hacia la bomba, impidiendo su retorno. Este canastillo solo impide la entrada de partículas que puedan quebrar piezas de la bomba.

Tubería de succión:

Por lo general, esta tubería o “chorizo” tiene el mismo diámetro que el diámetro normal de succión de la bomba. La longitud máxima de succión, medida desde el eje de la bomba a la superficie del agua, no debería exceder los 6 a 7 metros.

El material más indicado para la succión es caucho con entramado de tela y refuerzo de espiral de acero. Este chorizo tiene ventajas en la conservación de la bomba, por cuanto es una tubería y al mismo tiempo, un amortiguador del golpe de ariete. Alternativamente se puede utilizar tubería de acero, PVC u otro material

resistente a la presión externa, las cuales cumplen el mismo efecto. En ningún caso deben utilizar mangueras sin espiral de refuerzo ni tampoco de polietileno.

Motobomba:

Se denomina motobomba al conjunto formado por motor y bomba. La energía mecánica del motor produce el accionamiento de la bomba, encargada de succionar el agua hacia las tuberías con una determinada presión y caudal. Esto, gracias a la fuerza centrífuga generada por la potencia del motor y el diseño del rodete.

La motobomba es la parte principal de la unidad de bombeo, que debe ser correctamente seleccionada antes de proceder a su instalación. El equipo motobomba es seleccionado de acuerdo al caudal de agua requerido, la altura geométrica total (figura 2) y la presión requerida en la descarga (aspersores). El caudal que debe proporcionar la bomba deberá satisfacer los requerimientos de riego calculados previamente para el mes más crítico (normalmente, enero).

La Figura 2 muestra las alturas de presión consideradas para la elección de la unidad de bombeo.

- *Altura geométrica de aspiración (H_a):* Es la distancia vertical existente entre el nivel del agua aspirada y el centro o eje de la bomba.
- *Altura geométrica de impulsión o elevación (H_i):* Es la distancia vertical entre el centro de la bomba y el punto más alto de la tubería de impulsión.
- *Altura geométrica total (H_t):* Es la suma de la altura geométrica de aspiración y la altura geométrica de impulsión.

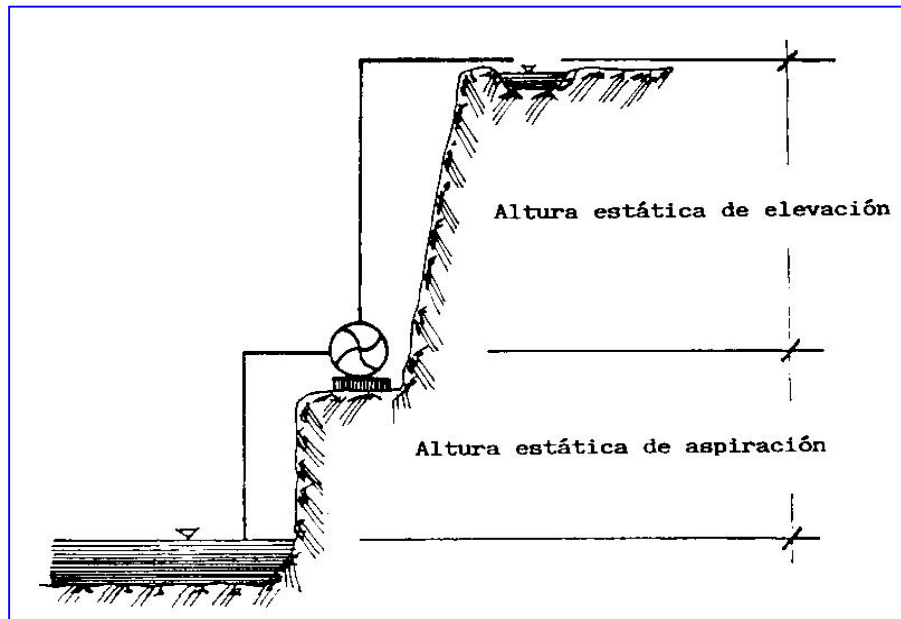


Figura 2. Alturas de aspiración e impulsión de un riego por aspersión.

Para que una bomba pueda levantar el agua con una determinada presión a una o más salidas (aspersores), necesita efectuar suficiente trabajo que permite superar la altura geométrica de aspiración y la altura geométrica de impulsión. En el trayecto hay pérdidas de carga producidas por el rozamiento del agua en la tubería y en los fittings (codos, tees, etc.) que también deben ser considerados. La experiencia ha demostrado que las pérdidas de carga en piezas especiales, como codos, tees, válvulas, otros, en general nunca superan el 20% de las pérdidas de carga totales de la tubería, por lo tanto, cuando no se dispone de información, éste es un valor conservador, que puede ser usado como una estimación en los cálculos.

Las bombas más comunes empleadas en riego por aspersión son las centrífugas, que pueden ser accionadas por motores eléctricos, de combustión interna (petróleo o bencina), o por el eje de toma fuerza del tractor.

En caso de existir tendido eléctrico en las proximidades, es recomendable el uso de motores eléctricos. Estos son más baratos, requieren menos mantención, son más eficientes y fáciles de operar que los de combustión interna. Motores de hasta 3 HP, pueden utilizar electricidad monofásica, y potencias superiores requieren electricidad trifásica.

Al utilizar como fuente de energía el eje toma fuerza del tractor, obligadamente debe desviarse o eliminarse un tractor de las labores agrícolas durante la temporada de riego, a menos que se riegue de noche. Por esta razón y por el desgaste del motor del tractor, dicha alternativa no es recomendable, salvo en casos esporádicos.

Las motobombas pueden ser fijas o móviles. Son fijas cuando succionan aguas subterráneas de pozo profundo y utilizan motores eléctricos. Las motobombas móviles generalmente están accionadas por motores de combustión interna. Estas van montadas sobre ruedas de hierro o neumáticos y pueden ser movilizadas a mano o con tractor.

Determinación de las necesidades de bombeo

a) Determinar el caudal (Q) necesario y la presión requerida.

El caudal se define en el diseño agronómico, y la presión requerida por el sistema se define en el diseño hidráulico. El detalle de ambos diseños se indica más adelante.

b) Estimar el diámetro de la tubería que conducirá el caudal elegido

Un criterio para determinar el diámetro es a través de la velocidad del agua. Debemos evitar tener en nuestra tubería una velocidad excesiva (podría haber

golpe de ariete). Es recomendable elegir un diámetro y un tipo (PVC, asbesto-cemento, polietileno, aluminio, otros) de tubería donde el agua no alcance una velocidad de más de 2 m/s.

La velocidad que cualquier caudal elegido alcanza con un determinado diámetro de tubería, está dada por la siguiente relación:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (1)$$

V = Velocidad (m/s).

Q = Caudal (m³/s).

D = Diámetro tubería (m).

Una vez establecido el diámetro necesario para transportar el caudal elegido, es necesario:

- Calcular las pérdidas de carga unitarias en la tubería expresándolas en metros.

La fórmula que permite este cálculo es la siguiente:

$$J = 10,665 * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,869}} \quad (2)$$

donde,

J = Pérdida de carga por m de tubería.

Q = Caudal (m³/s).

D = Diámetro interno (m).

C = Coeficiente de rugosidad (depende del material).

Luego de obtener la pérdida de carga unitaria (por metro), es necesario obtener las pérdidas para cada tramo de diámetro similar. Para esto se debe:

- Obtener la longitud de la tubería, por diámetro y multiplicarlo por la pérdida de carga unitaria (Ecuación 3) :

$$H_p = L_t * J \quad (3)$$

H_p = Pérdidas de carga en tuberías.

L_t = Longitud total por diámetro tubería.

J = Pérdidas de carga por (m).

- Luego, deben calcularse las pérdidas de carga totales en la tubería (H_{pt}) sumando las pérdidas obtenidas por tramo de diferente diámetro. Este cálculo debe incluir la tubería de aspiración, de conducción y de distribución.

Posteriormente, se estiman las pérdidas de carga en fittings (H_s) como:

$$\frac{H_{pt}}{X} = \frac{100\%}{20\%}, \quad x = H_s = 0,2 H_{pt} \quad (4)$$

Finalmente la altura total de elevación será:

$$H_t = H_a + H_i + H_{pt} + H_s = H_a + H_i + H_{pt} + 0.2 H_{pt} \quad (5)$$

El valor aquí obtenido indica, la altura mínima en metros, que la bomba debe superar para llegar al punto requerido con el caudal seleccionado.

Accesorios y fittings de descarga.

Los fittings de descarga más importantes son la válvula de retención vertical, la válvula de compuerta de descarga, y la válvula de compuerta de vaciado.

Asimismo los accesorios más importantes son los manómetros de control (recomendables de glicerina), y el dispositivo de amortiguación de golpe de ariete, el que en algunas ocasiones puede ser reemplazado por un conjunto de válvulas de sobrepresión y de antivació.

Red de Distribución.

Se entiende por red de distribución al conjunto de tuberías que constituyen la red principal y las líneas secundarias o ramales laterales. La red principal es aquella tubería que conduce el agua a presión, desde la unidad de bombeo hasta los ramales laterales y estos son a su vez, conducen desde la red principal hasta los aspersores que están instalados sobre ellas.

Atendiendo a su posible movilidad la red de distribución se clasifica en:

- *Fija*: Las tuberías que conducen y distribuyen el agua a los sectores de riego cubren simultáneamente la totalidad de la superficie, provocando que el riego se efectúe abriendo y cerrando válvulas de modo escalonado. La colocación de la red puede ser temporal o permanente. En el primer caso, las tuberías se colocan sobre la superficie del terreno después de la siembra o plantación y se quitan un poco antes de la recolección. En el segundo caso las tuberías se entierran permanentemente. El sistema de distribución fija está indicado cuando la naturaleza del suelo o del cultivo exige riegos muy frecuentes, para abaratar costos de mano de obra y evitar el tránsito sobre el terreno regado.

- *Portátil*: Todas las tuberías tanto la red principal como los laterales, se trasladan a medida que se riega. Este sistema tiene un costo de inversión inferior al fijo, pero requiere mano de obra para el traslado de tuberías.
- *Semiportátil*: La red principal suele ser fija, mientras que los laterales se trasladan de un lado a otro.

En general, conforme se aumenta el número de elementos fijos de la red de distribución de un sistema de riego, los costos de inversión en instalación se incrementan y los requerimientos de mano de obra disminuyen.

Cobertura y disposición de la red de distribución.

Se llama riego de cobertura total cuando se dispone de elementos suficientes para regar toda la superficie del predio sin efectuar traslado de los equipos. En caso contrario, se denomina de cobertura parcial, ya que es necesario transportar todo o parte del equipo de un lugar a otro en cada postura de riego.

El riego de cobertura parcial tiene un menor costo de inversión, pero es necesario trasladar las tuberías de un lugar a otro. En suelos mojados, esto ofrece ciertas dificultades, especialmente en suelos arcillosos. En cultivos de baja altura el traslado de tuberías puede hacerlo una persona, pero en aquellos de mayor altura precisan de al menos, dos personas.

Con respecto a la disposición de tuberías, la principal o “alimentadora” debe colocarse siempre en dirección de máxima pendiente. De esta manera, la secundaria queda emplazada a lo largo de la curva de nivel o cercana a ella, logrando disminuir al mínimo las diferencias de presión entre el primer y último aspersor de cada línea secundaria o lateral.

- *Disposición unilateral.* Esta disposición es buena cuando el paño a regar no es muy ancho, cubriendo la distancia con cada línea secundaria o lateral. Consiste en colocar la tubería principal ojalá paralela a algún deslinde siguiendo la máxima pendiente, de la cual se desprenden las líneas secundarias hacia un solo lado de la matriz. Si son móviles, van desplazándose por la tubería principal a medida que se cumple con el riego. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la disposición unilateral en donde se utiliza únicamente un ramal lateral (sistema portátil).

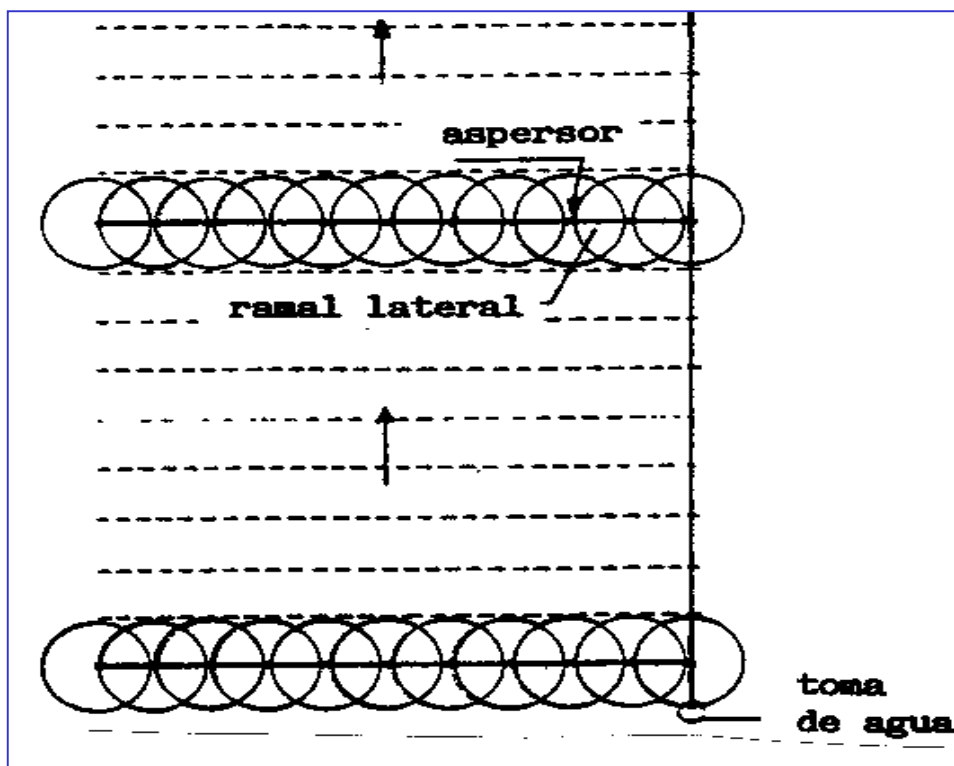


Figura 3. Disposición unilateral de los laterales

- *Disposición bilateral.* Se usa en predios más anchos y, consiste en colocar la tubería principal en el medio del paño a regar siempre siguiendo la máxima pendiente y las líneas secundarias a ambos lados de ellas. En la siguiente figura se muestra una disposición bilateral con dos ramales laterales y una postura de riego (sistema portátil).

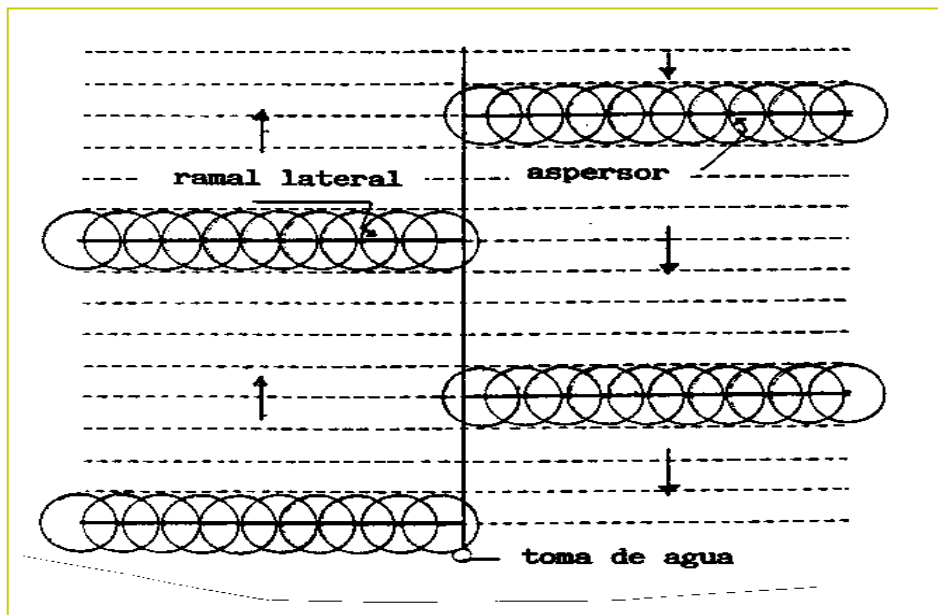


Figura 4. Disposición bilateral de los laterales.

Accesorios y fitting.

Los equipos de riego por aspersión pueden requerir de diversos elementos para su funcionamiento, los cuales pueden ser elementos de control, como manómetros y medidores de caudal; unidades anexas, como tanques de fertirrigación, filtros y amortiguadores de golpe de ariete. También pueden ser válvulas, como válvulas de retención de compuerta, antivació y sobrepresión.

Todos estos elementos permiten un manejo adecuado del equipo y varían en cantidad y especificaciones de acuerdo al diseño del equipo y a las condiciones de operación en terreno.

Los fitting son las piezas especiales que están destinados a derivar, reducir los diámetros y acoples de las tuberías de distribución. Entre ellos: tees, codos, hidrantes, reducciones, tapones, otros. Estos materiales son prescindibles en toda red de distribución.

Aspersores.

Los aspersores son los elementos más importantes en un equipo de riego por aspersión. Son dispositivos que pulverizan el chorro de agua en gotas de diversos tamaños mediante las boquillas. El agua es repartida uniformemente en el terreno debido a la rotación del cuerpo del aspersor, efecto de la reacción al impulso del chorro en el brazo del martillo, el cual vuelve a su posición inicial por la acción de un resorte de tensión (Figura 5).

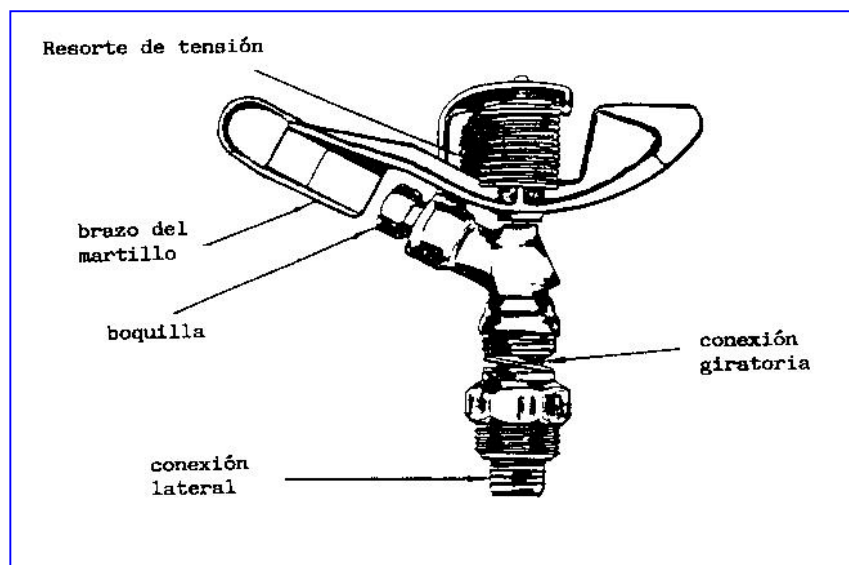


Figura 5. Componentes de un aspersor.

Comercialmente existe una diversidad de tipos de aspersores, en cuanto a tamaño y presión de trabajo con las consiguientes diferencias en la intensidad de precipitación, radio de alcance del chorro y distribución de la lluvia.

Los fabricantes publican especificaciones de diferentes marcas y tipos de aspersores, que detallan las condiciones de trabajo de los mismos. Ello permite elegir el aspersor más adecuado a la intensidad de precipitación propuesta e intervalo con el que debe cubrirse un área determinada de terreno.

Los aspersores se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo, como sigue:

- *Baja presión:* funcionan con presiones inferiores a 20 metros de columna de agua (mca). Utilizan caudales inferiores a 0,3 l/s, y su radio de mojadura es menor a 9 metros. Producen un riego uniforme aún en el caso de viento de cierta consideración. Son utilizados en jardinería, hortalizas, riego de frutales por debajo de la copa de los árboles y riego de protección de heladas.
- *Medía presión:* funcionan con presiones comprendidas entre 20 y 45 mca. Los caudales utilizados con estos aspersores varían entre 0,3 y 1,5 l/s. y su radio de mojadura fluctúa entre 10 y 20 metros. Producen un riego uniforme y son utilizados en una gran variedad de suelos y cultivos.
- *Alta presión:* funcionan con presiones superiores a 45 mca. y arrojan un caudal superior a 1,5 l/s con radios de mojadura entre 30 y 75 metros. Dentro de esta categoría se sitúan los cañones de riego, los cuales tienen un elevado costo, tanto en el de la inversión inicial, como en su funcionamiento. La distribución del agua es muy afectada por el viento y producen gotas muy grandes que perjudican con su impacto a determinados suelos y cultivos. Se usan para cubrir grandes extensiones, generalmente praderas, donde no producen daños al cultivo.

El patrón de humedecimiento de los aspersores varía con la distancia. La máxima cantidad de agua cae cerca del aspersor y disminuye en la medida que se aleja de éste. Por tal motivo, las áreas de mojadura de los aspersores deben traslaparse en un porcentaje para aplicar una lámina de agua uniforme. Esto se relaciona también con las condiciones de viento de la zona, ya que éste modifica la distribución del agua (Figura 6).

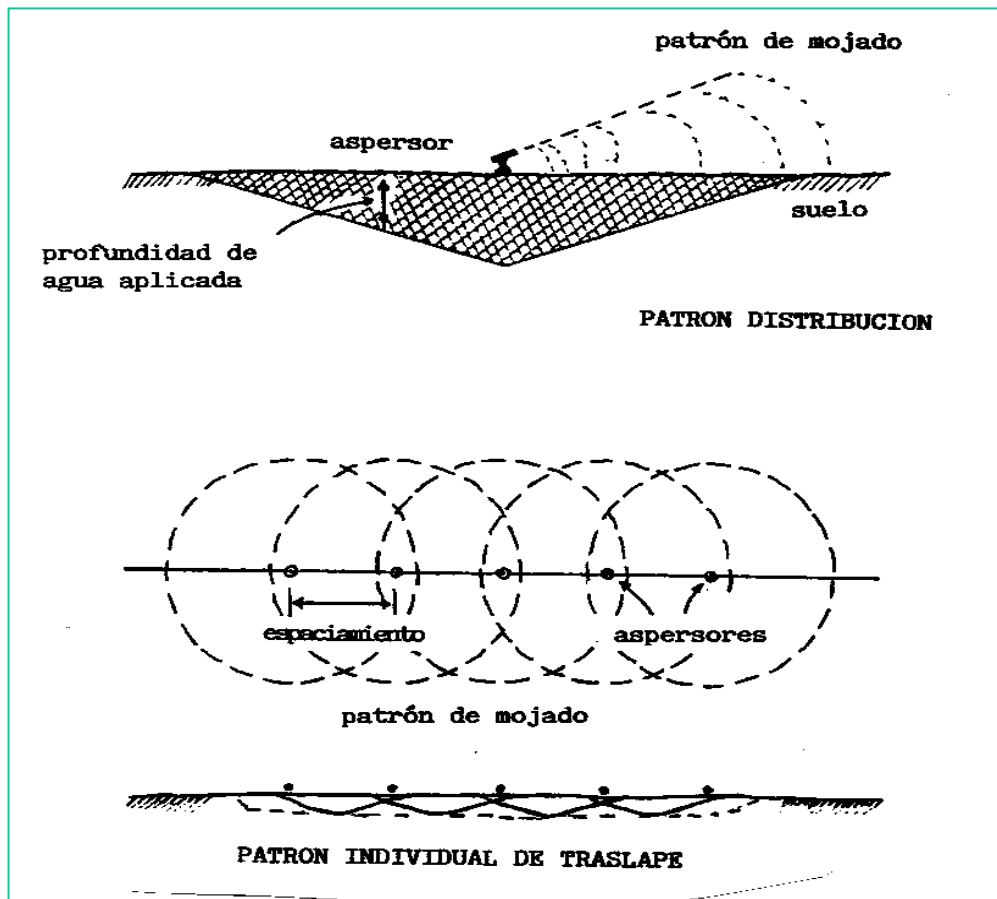


Figura 6. Mojamiento típico de un aspersor y efecto del traslape.

Las características más relevantes de los aspersores son:

- El *caudal de un aspersor* va a estar determinado por el diámetro de las boquillas y con la presión de funcionamiento. Por ejemplo: un aspersor diseñado para entregar un caudal de 1.200 l/h a una presión de 2 kg/cm², botará menos caudal cuando la presión disminuye y más cuando la presión aumenta.
- El *alcance de un aspersor* que determina el radio de mojadura, depende del ángulo de inclinación de la boquilla y de la presión de funcionamiento. El valor máximo del radio de mojadura se obtiene con un ángulo de inclinación de 45°,

el cual debe ser seleccionado si el viento no es importante. Sin embargo, bajo condiciones de viento, deben seleccionarse aspersores de bajo ángulo, siendo los más recomendados aquellos aspersores con ángulos de ataque entre 25 y 27°.

- *Pulverización.* Este parámetro depende del diámetro de la boquilla y de la presión de funcionamiento. Para un determinado diámetro de boquilla, el tamaño de las gotas es mayor cuando la presión de funcionamiento es menor. Para una determinada presión de funcionamiento, el tamaño de las gotas es mayor al aumentar el diámetro de la boquilla.
- *Pluviometría o precipitación:* expresa la intensidad del riego por aspersión y se mide por la altura de la lámina de agua recibida en el terreno en un tiempo determinado. Normalmente se expresa en mm/h. Como criterio de diseño, la pluviometría de un aspersor debería ser igual o ligeramente inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo para evitar escurrimiento.

La pluviometría media de un aspersor sobre su área mojada, puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$pp = 3.600 * \frac{Q}{\pi R^2} \quad (6)$$

pp = Pluviometría individual de un aspersor (mm/h).

Q = Caudal del aspersor (l/seg).

R = Radio de alcance del aspersor (m).

Un aspersor individual no arroja la precipitación de modo uniforme, por lo que se debe considerar un marco de aspersores y considerar un traslape entre los

aspersores. Por ello, la pluviometría de los aspersores en bloque, puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P = 3.600 * \frac{Q}{S} \quad (7)$$

P = Pluviometría expresada en mm/h.

Q = Caudal del aspersor (l/seg).

S = Superficie de riego (m²).

La superficie de riego de un aspersor es un rectángulo cuyos lados son; la mitad de la distancia entre dos aspersores contiguos y la mitad entre dos líneas de aspersores.

Ejemplo: Calcular la pluviometría de un aspersor, en mm por hora, conociendo que el caudal del aspersor es de 0,45 l/seg. La separación entre aspersores es de 10 m y la separación entre líneas es de 16 metros.

La superficie de riego de cada aspersor sería:

$$S = 10 \times 16 = 160 \text{ m}^2.$$

La pluviometría sería:

$$P = 3.600 * \frac{Q}{S} = 3.600 * \frac{0,45}{160} = 10,1 \text{ mm/h}$$

- *Marco de los aspersores.* Se llama marco de un aspersor a la distancia que existe, entre dos líneas continuas, y entre dos aspersores continuos sobre una misma línea (Figura 7).

Dado que la cantidad de agua aplicada al suelo disminuye a medida que se aleja del aspersor, es necesario compensar este déficit de pluviometría traslapando el círculo de mojadura con el de otros aspersores. A continuación se presentan tres formas de disponer los aspersores:

- *Disposición en cuadrado.* Los aspersores ocupan los vértices de cuadrados siendo la distancia entre líneas igual a la distancia entre aspersores continuos en una misma línea
- *Disposición en rectángulo.* Los aspersores ocupan los vértices de rectángulos, donde la distancia mayor del rectángulo se aplicará a la separación entre líneas y la menor a la separación de los aspersores en la misma línea. Esta disposición tiene como objetivo corregir la acción del viento sobre la distribución del agua.
- *Disposición en triángulo.* Los aspersores ocupan los vértices de triángulos equiláteros. La disposición reduce el número de aspersores usados para una misma superficie, en relación a las anteriores. Sin embargo presenta dificultades de operación cuando necesita ir cambiando de posición las tuberías.

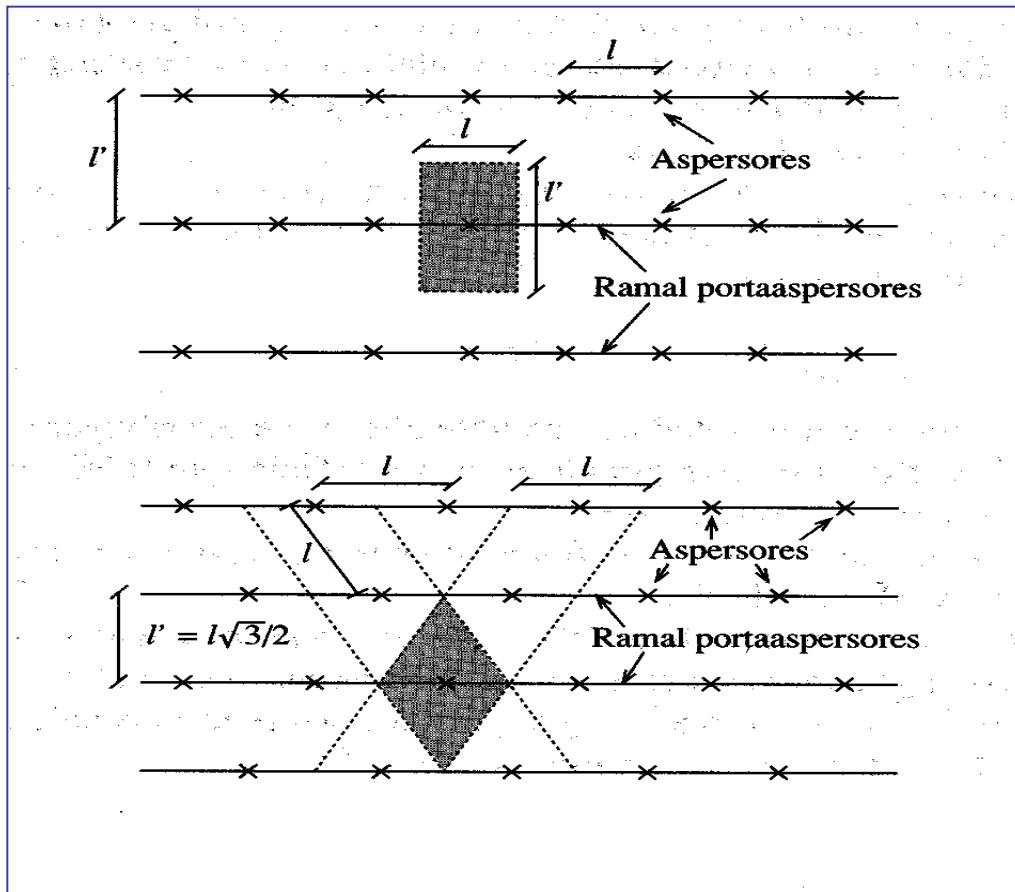


Figura 7. Disposición de los aspersores: cuadrado, rectangular y triangular.

Si el diseño es adecuado, la pluviometría entregada por los diferentes marcos, debería ser similar.

En resumen, el marco de los aspersores está definido por la disposición y por la distancia entre los aspersores y entre líneas. Se puede decir que el espaciamiento (e) entre aspersores no podrá ser superior a una distancia relacionada con su radio de alcance (R) que para los distintos tipos de disposición será:

- Disposición en cuadrado:

$$e < 1,4 \text{ de } R$$

- Disposición rectangular:

Distancia entre aspersores de una misma línea $e < 1,4$ de R

Distancia entre líneas $e < 1,3$ de R

- Disposición triangular:

Distancia entre aspersores de una misma línea $e < 1,7$ de R

Distancia entre líneas $e < 1,5$ de R

Factores que afectan la eficiencia en riego por aspersión.

La eficiencia de aplicación del método de riego por aspersión es afectada por varios factores, entre los cuales, la presión de trabajo de los aspersores es de gran importancia. La figura 8 muestra en forma esquemática, no a escala de las alteraciones del patrón de humedecimiento al variar la presión del aspersor. 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 debido al factor viento y turbulencias.

Cuando el aspersor trabaja con una presión adecuada, produce un patrón de humedecimiento normal (esquema central de figura 8).

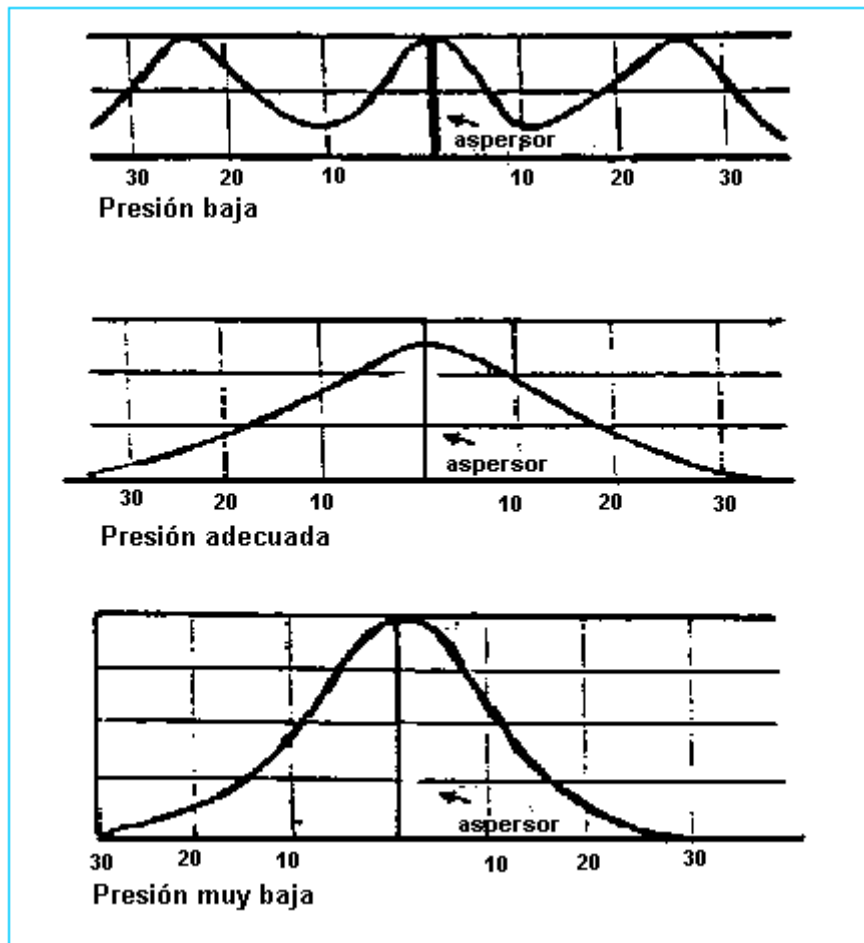


Figura 8. Distribución del agua en función de la presión de trabajo de los aspersores.

Otro factor de gran importancia es la velocidad del viento, ya que provoca una deformación en el patrón de humedecimiento (Figura 9). Por esta situación es conveniente disminuir la distancia entre los aspersores para reducir dicho efecto.

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 45° que sería el ángulo ideal en ausencia del viento.

En general, velocidades de vientos superiores a 2,5 m/s no hacen recomendable el riego por aspersión mientras que, velocidades entre 1 y 2,5 m/s lo hacen poco recomendable.

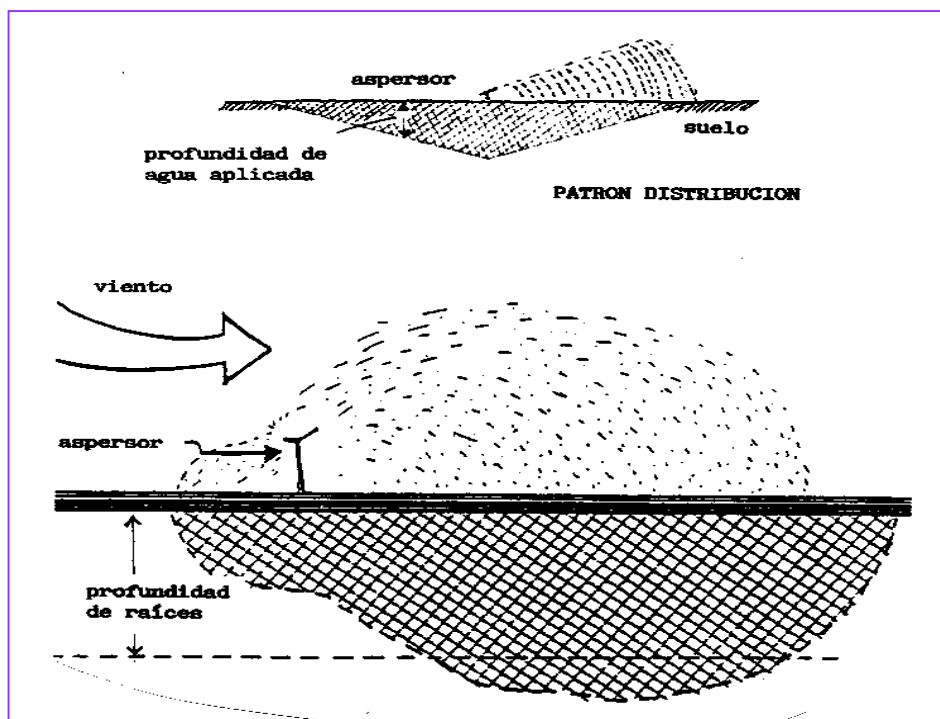
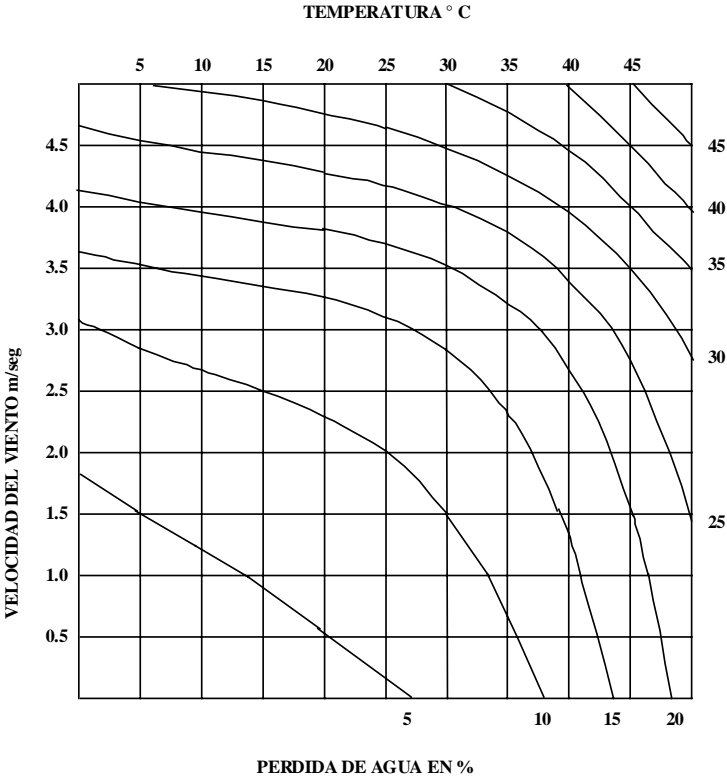


Figura 9. Distribución de humedad bajo el aspersor y el efecto del viento.

Otro aspecto a considerar en el diseño del riego por aspersión son las pérdidas de agua por evaporación directa del chorro del aspersor. Estas pérdidas de agua están en función de la temperatura ambiental y de la velocidad del viento (Figura 10). El efecto de los vientos fuertes y persistentes, en un clima de altas temperaturas, origina pérdidas considerables que se deben contemplar en la

elección del equipo. Así por ejemplo, en condiciones de vientos con una velocidad de 2 m/s y temperatura de 25° C, se podría originar una pérdida de agua de un 10% sobre el volumen aplicado.

Otra condición que debe considerarse en el manejo del sistema es la frecuente reducción de velocidad del viento por la noche. Esto aconsejaría alternar el riego diurno y nocturno de cada zona para aumentar la uniformidad de aplicación.



NOTA EL REIGO POR ASPERSION ES POCO RECOMENDABLE PARA VELOCIDADES DE 1.0 A 2.49 m/seg Y PARA VELOCIDADES MAYORES A 2.5 m/seg NO ES RECOMENDABLE

FUENTE MANUAL PRACTICO PARA INSTALACION DE RIEGO ARTIFICIAL. ALEMANIA, PERROT 1975

Figura 10. Pérdidas de agua por efecto del viento y temperatura en el riego por aspersion.

Golpe de ariete.

Se conoce como golpe de ariete a la sobre presión, respecto a la presión estática del sistema, originado al detener bruscamente el flujo de agua en una tubería de conducción de agua a presión. Este incremento de la presión producida por la transformación de la energía cinética del agua en energía de presión.

El golpe de ariete se puede producir por las siguientes razones:

- Apertura o cierre muy rápido de las válvulas.
- Golpe externo que ocasiona la ruptura de una tubería.
- Al comenzar el funcionamiento de una bomba.
- Al detener una bomba.

Hay distintos procedimientos para evitar que las acciones producidas por un golpe de ariete dañen la instalación:

- La solución más sencilla es calcular la sobrepresión y equipar una tubería suficientemente resistente. Si la sobrepresión es importante, este método conduce a una solución extraordinariamente cara.
- Si se aumenta el diámetro de la tubería de conducción, se reduce el valor de la velocidad y proporcionalmente los valores de sobrepresión y depresión. También es un método muy caro, pero en algunas conducciones de poca importancia se emplea con frecuencia. Con velocidades de circulación de 0,3 m/s el riesgo disminuye al mínimo.
- La colocación de una o varias válvulas de control de ariete. Este método es especialmente recomendable para conducciones muy largas.

Factores a considerar en el diseño y selección de equipos.

En Chile se han cometido frecuentes errores de diseño en los equipos de riego mecánico, que en muchas ocasiones han frenado el desarrollo de estos sistemas, provocando frustración y pérdidas económicas en los usuarios. Un diseño inadecuado de un equipo mecánico, puede causar mayor daño que un modesto sistema de riego gravitacional.

Por lo tanto, se sugiere que antes de comprar un equipo de riego por aspersión, se consulte a un especialista, ya que debe adquirirse un sistema dimensionado a las necesidades del predio.

En otras palabras, un equipo de riego no es una maquinaria más que se puede adquirir directamente con un vendedor, sino que es un conjunto de partes que al operar, deben comportarse como un equipo optimizado de acuerdo al tamaño y necesidades del predio, es decir, es como un “traje hecho a la medida”.

De lo contrario, el agricultor se expone seriamente al riesgo de comprar un equipo que no solucione el problema de riego del predio, y lo que es peor, no porque el equipo sea malo, sino porque no era el apropiado a su predio.

Afortunadamente, la ingeniería dispone de herramientas computacionales de optimización, cálculo y diseño, con las cuales se obtienen excelentes resultados. Esta metodología tiende a disminuir el elemento artesanal del ingeniero; sin embargo, no puede dejar de considerarse el “sentido común” del proyectista, ya que la sensación basada en el criterio y la experiencia profesional, es la clave del éxito del sistema y diferencia lo bueno de lo excelente.

Los factores más importantes a considerar en el diseño y cálculo de un sistema de riego por aspersión son:

- Presión de trabajo del aspersor.
- Disposición de los aspersores.
- Velocidad del viento.
- Velocidad de aplicación.
- Posturas del equipo de riego.
- Tamaño del equipo.

Presión de trabajo del aspersor.

La presión de trabajo de los aspersores debe ser la adecuada y corresponde a la señalada en las especificaciones dadas por el fabricante. Si la presión de trabajo es baja, entonces el tamaño de la gota de agua es mayor, alterando la distribución de agua en el suelo. Por el contrario, si la presión de trabajo es mayor a la indicada por el fabricante, la gota se hace muy pequeña, perdiendo el radio óptimo de mojadura.

Cuando el aspersor trabaja a la presión de diseño, se produce un patrón de humedecimiento normal y una buena uniformidad de aplicación, si se ha dispuesto una adecuada separación entre aspersores.

Disposición de los aspersores.

La elección de la disposición espacial (marco) de los aspersores se realiza teniendo en cuenta fundamentalmente: la curva de precipitación de los aspersores, tipo de instalación (fija o móvil) y condiciones de viento.

Desde el punto de vista de la uniformidad de riego, las disposiciones en triángulo y cuadrado, debido a la simetría que las caracteriza, son más favorables que el marco rectangular. Si se considera la superficie que cubre cada aspersor como elemento de juicio comparativo entre las tres disposiciones, se concluye que la disposición en triángulo es más favorable que la disposición en cuadrado y ésta a

su vez, más que la rectangular. Por último, el número de aspersores por hectárea que se requiere utilizando una disposición en triángulo es menor a una disposición cuadrada y éste menor que en rectángulo.

Sin embargo, aún cuando lo expuesto hasta el momento indique como disposición más ventajosa la triangular, las dificultades de manejo que supone la colocación de los aspersores hace que dicha disposición se limita a instalaciones fijas en que no se requiere traslado de tubos.

Velocidad del viento.

El viento es uno de los factores más condicionantes del riego por aspersión. Las gotas de lluvia que simula el método son arrastradas fácilmente por éste, lo que impide un mojamiento parejo. En estos casos, se recomienda regar en horas de menor o ausencia total del viento, incluyendo el riego nocturno, para lo cual deben dejarse instaladas las tuberías laterales durante las horas de luz.

El efecto del viento se compensa disminuyendo la separación entre aspersores, pero implica un mayor número de ellos en el sistema.

En los Cuadros 1 y 2 se presentan datos generales para definir la separación entre aspersores, en función de la velocidad del viento y del radio o diámetro óptimo de mojadura dado por el fabricante.

Cuadro 1. Separación entre aspersores para diferentes velocidades de viento.

VIENTO (km/h)	ESPACIAMIENTO
6,4	60 % del diámetro mojado
12,8	50 % del diámetro mojado
16,0	30 % del diámetro mojado

Fuente : Holzapfel, 1990.

Cuadro 2. Separación entre aspersores (m), de acuerdo al radio de mojadura y a la velocidad del viento.

Diámetro de mojamiento (m)	Velocidad del viento (km/h)			
	0 - 2	2 - 8	8 - 16	> 16
15	9.75	9.0	7.5	4.5
20	13.00	12.0	10.0	6.0
25	16.25	15.0	12.5	7.5
30	19.50	18.0	15.0	9.0
35	22.75	21.0	17.5	10.5
40	26.00	24.0	20.0	12.0
45	29.25	27.0	22.5	13.5
50	32.50	30.0	25.0	15.0

Fuente : Varas y Sandoval, 1989.

Cuando el viento mantiene una dirección dominante, la mejor disposición de los aspersores es la rectangular, con los laterales porta aspersores perpendiculares a la dirección del viento. No obstante, cuando la velocidad del viento alcanza determinados valores no es suficiente utilizar la disposición rectangular y se debe reducir la distancia entre aspersores.

Velocidad de aplicación.

La velocidad con que los aspersores distribuyen el agua (intensidad de lluvia), debe estar de acuerdo con el tipo de suelo que se está regando. Así, en suelos arcillosos la velocidad de aplicación debe ser menor que en suelos arenosos, para no producir pérdidas por escurrimiento superficial del agua.

Otro de los factores que determina la velocidad de aplicación de los aspersores es el estado de desarrollo del cultivo, por lo que debe reducirse, cuando el cultivo se encuentra en estado de emergencia, floración o fruto recién cuajados, de modo

que el impacto de la gota no los dañe. Para ello, se utilizan boquillas más pequeñas y trabajando a mayor presión para generar un tamaño de gota inferior.

Posturas del equipo de riego.

El operar adecuadamente el riego por aspersion asegura una eficiencia del método (sobre el 80%), lo que justifica los altos costos de inversión.

Primero debemos conocer la frecuencia de riego, o sea, cada cuántos días se debe regar, en función de los requerimientos de agua del cultivo y de la cantidad de agua que retiene el suelo. Al conocer la frecuencia de riego, podrán programarse las distintas posturas o cambios del equipo y distribuir la superficie a regar por día.

Tamaño del equipo.

El diseño del equipo por aspersion para alguna situación en particular debe ser el adecuado, de modo que cumpla con las exigencias del cultivo en la época de mayor demanda de agua.

Es así como, si la red hidráulica queda subdimensionada (no es capaz de suplir los requerimientos hídricos del cultivo en pleno desarrollo), la plantación se desarrollará en buena forma sólo durante los primeros estadios de desarrollo. Después de eso, el cultivo sufrirá déficit hídrico creciente. Una situación de esta naturaleza es irreversible y puede significar el fracaso de la producción.

Por otro lado, los sistemas hidráulicos sobredimensionados tienen un alto costo de inversión inicial y un elevado costo de operación (consumo de combustible o electricidad).

Procedimiento general de diseño.

Las principales etapas para el cálculo y diseño de un equipo de riego por aspersión son:

- Inventario de recursos de suelo, topografía, abastecimiento de agua, fuente de energía, cultivos, programa de administración.
- Cálculo de la cantidad de agua a reponer en cada riego.
- Cálculo de la frecuencia de riego mensual.
- Cálculo de la capacidad del sistema.
- Determinación de la velocidad de aplicación.
- Determinación del espaciamiento entre aspersores.
- Selección del tipo de aspersor por catálogo.
- Determinación del número de aspersores de trabajo simultáneo.
- Diseño de la distribución de tuberías principales y laterales.
- Cálculo de pérdidas de carga y diámetro de tuberías.
- Selección de unidad de motobomba.

Diseño de riego por aspersión.

El diseño de riego por aspersión incluye uno agronómico y uno hidráulico.

El diseño agronómico corresponde a la determinación de:

- Evapotranspiración.
- Lámina de reposición.
- Velocidad de infiltración básica.
- Frecuencia de riego y superficie mínima de riego diario.
- Selección del modelo de aspersor y disposición de los mismos en el campo.
- Número de laterales necesarios para cumplir el programa de riego.
- Determinación de caudales requeridos.

El diseño hidráulico corresponde al cálculo de los diámetros de tuberías requeridos para que el sistema funcione, cumpliendo ciertos requisitos mínimos establecidos y a la selección del equipo de bombeo, si este fuera necesario.

Diseño Agronómico.

Lámina de agua a reponer. La lámina de reposición (H) corresponde a la cantidad de agua necesaria para suplir el déficit de humedad del suelo, producto de la extracción de agua por parte del cultivo.

Para cuantificar la lámina de reposición se utiliza la siguiente relación:

$$H = \frac{(CC - PMP)}{100} Da \bullet Prof \bullet Cr \quad (7)$$

donde,

H = Lámina de agua de reposición (cm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (g/cm³)

Prof. = Profundidad (cm)

Cr = Criterio o umbral de riego (50%)

La capacidad de campo (CC) es la cantidad máxima de agua que un suelo retiene una vez que ha finalizado el drenaje interno. Coincide con el máximo de agua capilar, que es agua retenida por fuerzas de tensión superficial. Si el contenido de humedad disminuye progresivamente, las plantas encontrarán cada vez mayores dificultades para absorber agua del suelo, llegando al punto en que se inician los fenómenos de marchitez. Cuando este estado es irreversible, se dice que el suelo se encuentra en un estado o punto de marchitez permanente (PMP).

Los datos de CC, PMP y Da se obtienen muestreando directamente el suelo por estratas y enviando las muestras a un laboratorio especializados en física de suelos (INIA, Universidades).

A pesar de que el agua aprovechable se encuentra disponible para ser usada por el cultivo, no toda es igualmente aprovechable. A medida que el suelo se seca, el cultivo debe utilizar más energía para extraerla. Se considera entonces que sólo una fracción de esta agua es fácilmente aprovechable y a esto se le denomina criterio o umbral de riego. Esto corresponde a un porcentaje del agua aprovechable que, puede ser el 50% en cultivos normales o menor en cultivos sensibles al déficit hídrico.

Frecuencia de riego para cada mes.

$$FR = \frac{H}{ETc} \quad (8)$$

Donde FR es la frecuencia de riego en días y ETc es la evapotranspiración del cultivo en cm/día. La evapotranspiración mensual histórica puede obtenerse de registros agrometeorológicos cercanos de evaporación de bandeja (EB). La información diaria se obtiene dividiendo esta última por el número de días del mes.

La transformación de EB a ETc se desarrolla según lo siguiente:

$$ETo = EB \cdot Kb \quad (9)$$

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (10)$$

Donde: ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia; Kb es el coeficiente de bandeja (0.8) y Kc es el coeficiente de cultivo que varía a lo largo de la temporada (tablas).

La frecuencia de riego máxima (de diseño) debería calcularse usando un promedio de ETc de los tres meses de máxima demanda.

Cálculo del caudal del sistema. Se determina a partir de la frecuencia de riego (FR), su eficiencia de aplicación (0,75) y las horas diarias de funcionamiento u operación del equipo:

$$Q = \frac{A \cdot H \cdot 100}{0,75 \cdot FR \cdot HR} \quad (11)$$

Q = caudal en m³/hr

A = Area total a regar en m².

HR = Horas de riego disponibles en un día (hr)

Velocidad de infiltración básica. La velocidad de infiltración básica, corresponde al valor instantánea de velocidad de infiltración, cuando su variación en el tiempo, entre dos períodos de mediciones, no supera un 10% de su valor. La velocidad de infiltración puede ser medida en terreno o bien puede estimarse a partir de tablas, para distintas condiciones de textura de suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Velocidad de infiltración básica de suelo de diferentes texturas.

Textura	Velocidad de infiltración básica (mm/h)
Arcilla	1 - 5
Franco-arcillosa	6 - 8
Franco	7 - 10
Franco-arenosa	8 - 12
Arenosa	10 - 25

Como criterio general, es recomendable que la velocidad de aplicación no sea superior a la velocidad de infiltración básica.

Determinación del espaciamiento entre laterales y aspersores.

$$S_l S_a = \frac{100 \cdot Q}{V_a} \quad (12)$$

Donde S_l es el espaciamiento entre laterales; S_a es el espaciamiento entre aspersores, Q es el caudal de descarga del aspersor y V_a es la velocidad de aplicación (cm/hr).

Selección y disposición de los aspersores. La condición más importante de satisfacer con la selección y disposición de los aspersores, es el logro de una buena distribución del agua (alto coeficiente de uniformidad) y una buena eficiencia de aplicación.

Dichos aspectos están determinados por la infiltración básica, el efecto de la pendiente del terreno y la velocidad del viento.

Tomando en cuenta estos factores, la selección del aspersor se realiza en función de su presión de trabajo y del espaciamiento, utilizando para ello los catálogos de comportamiento de diferentes modelos de aspersores de distintos fabricantes.

$$I = \frac{3.600 \cdot G_a}{A} \quad (13)$$

I = Intensidad de precipitación (mm/h).

G_a = Gasto del aspersor (l/s).

A = Area de mojamiento de cada aspersor, dada por su espaciamiento sobre el lateral (S_a) y entre lateral (S_l).

Cálculo del número de aspersores mínimo. Una vez seleccionado el aspersor y definida la intensidad de precipitación, se procede a calcular el número mínimo de aspersores que deberían funcionar simultáneamente.

$$NA = \frac{A_m}{A_s} \quad (14)$$

A_m = Area mínima a regar en m^2 .

A_s = Area que cubre cada aspersor en m^2 .

$$A_m = \frac{A_T}{FR} * Fc \quad (15)$$

A_T = Superficie total de riego en m^2 .

Fc = Factor de corrección que considera el número de días a la semana se utiliza el equipo de riego(Ej. 7/6 corresponde a riego 6 días de la semana)

Disposición, longitud de laterales y número de aspersores por lateral. En general, los laterales son colocados paralelos a las curvas de nivel del terreno, a fin de evitar diferencias de presión provocados por cambios de elevación del terreno, dejando la tubería principal en el sentido de la mayor pendiente.

Por otra parte, cuando los vientos son fuertes, se recomienda colocar los laterales porta aspersores de manera de formar un ángulo de entre 45° a 90° con la dirección dominante del viento, logrando con esto una mejor distribución del agua. Como solución a esto, es posible instalar aspersores de mayor descarga en el primer lateral para enfrentar al viento como una cortina.

Una vez definida la longitud del lateral, de acuerdo a la geometría del predio, se procede a estimar el número de aspersores por lateral, lo cual puede obtenerse de la siguiente relación:

$$NA_l = \frac{L - (x + y)}{S_a} + 1 \quad (16)$$

NA_l = Número de aspersores en el lateral.

L = Longitud del lateral.

x = distancia entre la tubería principal y el primer aspersor.

y = distancia entre el último aspersor al final del campo.

S_a = Espaciamiento de los aspersores sobre el lateral.

Cuando x e y , son iguales a $0.5S_a$, el número de aspersores sobre el lateral se determina como:

$$NA_l = \frac{L}{S_a} \quad (17)$$

Caudal real requerido. El caudal total requerido por un sistema de riego por aspersión (Q_t) se calcula multiplicando el caudal de cada aspersor (G_a) por el número de aspersores por lateral (NA_l) y por el número de laterales necesarios para regar la superficie mínima de riego diario.

Diseño Hidráulico.

Una vez definidos los aspersores en el diseño agronómico, se procede a realizar el diseño hidráulico, que consiste en determinar los diámetros de las tuberías laterales, subprincipales, principales y de conducción, las presiones requeridas y la selección de la clase de tuberías.

Dimensionamiento de la tubería lateral:

El dimensionamiento de la lateral consiste en la determinación de la máxima variación de presiones a lo largo de la lateral, su diámetro, largo y presión a la entrada y al final de la misma.

El criterio básico de selección del diámetro de las tuberías estipula que la variación de presión, debido a pérdidas de carga por roce y diferencia de cota entre los extremos de la tubería lateral, entre el primer y último aspersor no debe ser superior al 20% de la presión de operación de estos.

La variación de presión máxima aceptable a lo largo de la lateral (ΔH) queda entonces definida por la relación siguiente:

$$\Delta H = [P_f + \Delta Z] \leq 0.2P_o \quad (18)$$

donde,

ΔH = variación máxima de presión en la lateral (mca)

P_f = Pérdidas por fricción (m).

ΔZ = Diferencia de nivel (o de cotas) entre los extremos de la tubería (m).

P_o = Presión de operación de los aspersores (m).

El valor de Z podrá ser positivo (+ ΔZ) si la lateral va cuesta arriba y negativa (- ΔZ) si la lateral va cuesta abajo. Si la tubería está en posición horizontal ΔZ es igual a 0.

Es preferible, como norma general, que la subprincipal se coloque formando un eje en el centro del campo, de tal forma que las laterales tengan un largo menor y cada una conduzca menos agua. Esto significa tuberías de menor diámetro y facilidad de las operaciones de traslado de ellos, en caso de ser móviles.

Una vez definido el largo de la lateral, de acuerdo a la geometría del predio y la disposición de las tuberías en un plano, se procede a determinar su diámetro mediante tanteos, hasta que la variación máxima de presión (ΔH) sea inferior a $0.20P_0$.

La fórmula más utilizada en el dimensionamiento de las tuberías en riego por aspersión es la de Hazen – Williams:

$$P_f = (10,665 Q^{1,851} D_i^{-4,869} C^{-1,851} L)F \quad (19)$$

donde,

P_f = Pérdidas de carga por fricción en la lateral (m).

Q = Caudal total en la lateral (m^3/s).

D_i = Diámetro interno de la tubería (mm).

L = Longitud de la tubería (m).

F = Factor de corrección por salidas múltiples para Hazen - Williams.

C = Coeficiente de Hazzen - Williams (120 para tuberías de aluminio; 145 para tuberías de asbesto-cemento y 150 para tuberías de PVC).

Debido a que en la lateral el caudal disminuye a medida que el agua sale por los aspersores, la pérdida de carga disminuye y es necesario corregirla utilizando un factor (F) que depende del número de aspersores sobre la lateral. Este factor toma en cuenta la reducción armónica de caudal producida a través de los aspersores a lo largo de la lateral

Para determinar el valor de F se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 * N} + \frac{(m-1)^{1/2}}{6 * N^2} \quad (20)$$

donde m adquiere el valor de 1,851. N , corresponde al número de salidas (N° de aspersores sobre la lateral). Los valores de F para diferente número de salidas de aspersores se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores de F.

Número de salidas	Hazen-Williams	Número de salidas	Hazen-Williams
	$M = 1,85$	16	0,382
1	1,000	17	0,380
2	0,639	18	0,379
3	0,535	19	0,377
4	0,486	20	0,376
5	0,457	22	0,374
6	0,435	24	0,372
7	0,425	26	0,370
8	0,415	28	0,369
9	0,409	30	0,368
10	0,402	35	0,365
11	0,397	40	0,364
12	0,364	50	0,361
13	0,391	100	0,356
14	0,387	Más de 100	0,351
15	0,384		

El cálculo del diámetro de la tubería se realiza entonces por tanteo probando varios diámetros y comprobando si la variación de presión (ΔH) es inferior al 20% de la presión de operación. Es necesario recordar que ΔH corresponde a la suma de las pérdidas por fricción (P_f) y el desnivel del terreno (ΔZ).

El cálculo de pérdidas de carga puede realizarse mediante el uso de planillas electrónicas o calculadoras programables, ingresando valores de diámetros de tuberías disponibles en el mercado.

Es necesario tomar en cuenta que en algunas circunstancias un solo diámetro a lo largo de la tubería, no entrega la pérdida por fricción requerida, necesiéndose la combinación de tramos de laterales de diámetros distintos.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico no es recomendable utilizar en las laterales tuberías de diámetros distintos. Sobre todo en el caso de traslado manual de las tuberías, que complica demasiado la operación al obligar a mantener siempre un mismo orden de las tuberías y prolongando la labor de cambio de postura de las laterales.

Dimensionamiento de la subprincipal porta lateral.

En los sistemas portátiles la tubería subprincipal es móvil, normalmente de aluminio o PVC. En los sistemas semi - fijo y fijos, la tubería subprincipal va enterrada, normalmente a una profundidad variable entre 0,6 a 0,8 metros.

En este último tipo de sistemas los tubos son de asbestos cemento o PVC, con elevadores de entrega y válvulas de salida a una distancia equivalente al espaciamiento entre laterales.

Para disminuir el costo, los elevadores y las válvulas de salida pueden colocarse al doble del espaciamiento entre laterales, de tal manera que desde una válvula puedan alimentarse 3 posiciones de laterales. Dos posturas de la lateral que se conectan directamente a la válvula y una tercera en posición intermedia entre dos válvulas alimentados por un tubo de conexión de longitud equivalente a la distancia entre laterales, que puede ser de aluminio o plástico (polietileno negro).

Debe tenerse presente que, además de las pérdidas por fricción en el elevador y en la válvula, es necesario tomar en cuenta las pérdidas por fricción en el tubo de conexión.

Para el dimensionamiento de la subprincipal, que lleva el agua a las laterales, se requiere:

- Determinar su largo.
- Determinar su ubicación en el campo.
- Determinar el gasto máximo que conducirá la subprincipal en cada tramo de acuerdo a la secuencia de operación de las laterales.
- Determinar la variación máxima de presión a lo largo de la subprincipal.
- Determinar las pérdidas de fricción en tuberías de diferentes diámetros.
- Determinar la presión en los nudos que limitan cada tramo de la subprincipal, de acuerdo a la secuencia de operaciones de las laterales.
- Seleccionar los diámetros apropiados.

La longitud de la tubería subprincipal dependerá de las dimensiones del terreno y de la planificación física que se haga del sistema de riego.

En terrenos regulares, el largo de la subprincipal corresponderá al largo del terreno, menos la mitad del espaciamiento entre las laterales en el extremo final. Además, es necesario descontar la distancia que existe entre el borde inicial y la primera salida de los aspersores (que en el mejor de los casos puede corresponder también a la mitad del espaciamiento entre aspersores). El tramo entre el borde inicial del aspersor y la primera salida de lateral es considerada como parte de la red principal o de conducción.

Sin embargo en algunas circunstancias la longitud podrá estar limitada por los caudales a conducir o las pendientes del terreno o por sus dimensiones, resultando más económico tener subprincipales separadas, alimentadas desde una tubería principal.

En cuanto a su ubicación, esta puede ser al centro del terreno a regar. Su ubicación queda definida fundamentalmente por la longitud máxima asignada a las laterales.

Caudal máximo de la subprincipal.

El caudal máximo que conduce la subprincipal en sus diferentes tramos depende del gasto de cada lateral, del número de laterales que funcionan simultáneamente y de la secuencia de operaciones de las laterales.

El análisis de la secuencia de operación de las laterales permite determinar las posiciones críticas que establecerán los máximos flujos de agua en los diferentes tramos de la tubería subprincipal, definido los nudos que limitan cada uno de ellos.

Este análisis debe realizarse con cuidado, puesto que será el que limite la capacidad del equipo y que en definitiva, debe ser respuesta en el campo una vez instalado el sistema, a objeto de no tener problemas posteriores de falta de presión.

Una forma de proceder para realizar este análisis es determinar el número de posturas que cubre cada lateral y ver su secuencia de desplazamiento.

Cuando la tubería principal se ubica en el centro del terreno a regar, el número de posiciones totales a lo largo de la tubería subprincipal se determina utilizando la siguiente relación:

$$PTP = \frac{2 * Lep}{Eel} \quad (21)$$

donde;

PTP = es el número total de posiciones de laterales a lo largo de la subprincipal.

L_{ep} = es la longitud efectiva de la tubería subprincipal (m).

E_{el} = corresponde al espaciamiento entre laterales (m).

El valor 2, indica que las laterales se desplazan por ambos lados de la principal.

Para determinar el número de posiciones que cubrirá cada lateral, se procede a dividir PTP, por el número total de laterales:

$$P_{pl} = \frac{PTP}{NI} \quad (22)$$

donde;

P_{pl} = número de posiciones cubiertas por un lateral.

NI = número de laterales.

Una vez definida el número de posiciones cubiertas por cada lateral, el diseñador deberá definir si cada lateral cubrirá el número de posiciones que le corresponde por un solo lado de la principal o por ambos lados. Esto último es preferible puesto que reduce la distancia de desplazamiento de las laterales, aumentando la eficiencia en el traslado de las tuberías.

Con los criterios señalados se procede gráficamente en el plano a determinar la posiciones críticas de las laterales y el caudal máximo que llevará la tubería subprincipal en cada tramo, identificando los nudos.

Variación máxima de la presión a lo largo de la subprincipal.

Existen varios criterios para determinar la variación máxima de presión a lo largo de la subprincipal. Uno de ellos establece que la variación máxima de presión a lo largo de la subprincipal no debe superar al 15% de la presión de operación del aspersor (criterio del 15%):

$$\Delta H = [P_f \pm \Delta Z] \leq 0.15P_o \quad (23)$$

Considerando este criterio para el diseño de la subprincipal, más el de 20% de la P_o de las laterales, se supera al 35% de la presión de operación del aspersor. Lo anterior significa que la variación de caudal entre el primer aspersor de la lateral, que ocupa la primera posición al inicio del campo y el último aspersor de la lateral que ocupe la última posición en el extremo distal del campo no variará en más de 16%.

También es necesario tomar en cuenta que la velocidad del agua dentro de las tuberías debe variar en un rango de 0,6 y 2,25 m/s, siendo recomendable 1,5 m/s.

Es necesario tomar en cuenta que en determinadas circunstancias el criterio de 15% de pérdidas no puede ser aplicable. Por ejemplo, en el caso de sistemas de riego en laderas, donde la fuente de agua se encuentre en la parte más baja.

El uso del criterio 15% resultaría en subprincipales muy cortas y de gran diámetro, lo que encarece el sistema. En estos casos la principal o la tubería de conducción pueden cumplir las veces de subprincipal, alimentando directamente las laterales. Para evitar las variaciones de presión excesivas entre laterales, pueden utilizarse reguladores de caudales en cada una de ellas. Las pérdidas de carga que producen estos reguladores se obtienen de los catálogos de los fabricantes.

Por otra parte, en el caso contrario, es decir cuando la tubería desciende en terrenos con mucha pendiente, el efecto de la gravedad (Z), significa ganancias importantes de presión a lo largo de la subprincipal. Esto permite tener pérdidas de fricción altas, utilizando tubos de menor diámetro. Se podría incluso llegar a utilizar diámetros de tubos tales, que la pérdida por fricción sea muy similar a Z , y mantener presiones bastantes uniformes a lo largo de la tubería.

Tubería principal y de conducción.

Estos tipos de tuberías están presentes en sistemas grandes compuestos por varias subprincipales con sus respectivas laterales (Figura 16). Las tuberías principales llevan agua a los diferentes puntos del terreno para alimentar subprincipales, formando una verdadera red y su diseño depende de la secuencia de operaciones de las diferentes subprincipales que componen el sistema y de los caudales a transportar. En este caso es importante mantener un equilibrio de caudales entre los diferentes subprincipales que conforman la red.

La tubería de conducción corresponde a la tubería que lleva el agua desde la fuente hasta el primer nudo de la principal.

En los sistemas pequeños, que cuentan de una subprincipal, la tubería de conducción y la principal son equivalentes.

La pérdida de presión es la principal consideración en el diseño, produciéndose dos situaciones básicas, de acuerdo al origen de la presión:

Donde se utiliza presión debida a la gravedad, o sea por diferencia de elevación, se pueden presentar 2 situaciones:

- a) La diferencia de altura es apenas suficiente para proporcionar una presión adecuada de funcionamiento. En este caso, será necesario usar tubos de mayor diámetro y minimizar las pérdidas por fricción para evitar bombeo.
- b) Cuando la diferencia de alturas es muy superior a la necesaria, el problema radica en reducir el exceso de presión, lo cual se logra utilizando tuberías de poco diámetro.

Donde la presión requerida proviene de bombeo, el problema consiste en seleccionar los diámetros y materiales de la razonable entre los costos anuales de bombeo y el costo de tuberías. El objetivo es el diseño de menor costo.

Para determinar el diámetro óptimo existen varios criterios de distinta complejidad:

- **Método de la pérdida de carga unitaria:** Consiste en seleccionar los diámetros de las tuberías, de manera que las pérdidas por fricción no excedan a 0,023 m/m de tubería.
- **Método de velocidad permisible:** Este método establece una velocidad límite máxima en la tubería principal. Los valores más comunes a usar son entre 0,6 y 2,25 m/s. Por debajo del primer valor los diámetros son excesivos y la tubería es cara. Para las velocidades superiores a 2,25 m/s las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados que sobrecargan excesivamente la bomba y aceleran el envejecimiento de la tubería. Se recomienda no sobrepasar el valor de 1,5 m/s.

El diámetro puede estimarse a partir de la relación: $D_i = 29,41 \cdot Q^{1/2}$, y comprobar la velocidad. Una vez obtenido el diámetro se estiman las pérdidas por fricción para calcular finalmente los requerimientos de impulsión.

Determinación de pérdidas singulares.

Se denominan pérdidas singulares a aquellas pérdidas menores debido a codos, tees, reducciones, uniones, accesorios en general, otros. Es necesario tomar en cuenta su magnitud y sumarlas a las pérdidas por fricción.

En el diseño de equipos complejos debe hacerse un inventario de todos los accesorios que están presentes en la red y determinar sus pérdidas, de acuerdo a lo establecido en los catálogos de los fabricantes.

En sistemas sencillos y relativamente pequeños, las pérdidas singulares se pueden estimar como un 15 a un 20% de las pérdidas por fricción total.

Determinación de los requerimientos de impulsión

Para determinar la dimensión de la unidad de bombeo es necesario conocer las condiciones máximas de operación a saber: el caudal y la carga dinámica total.

El caudal está determinado por el gasto máximo del equipo de riego por aspersión y la carga dinámica total, que corresponde a la presión requerida para el funcionamiento de los aspersores (P_o); más todas las pérdidas por fricción, singulares y desniveles existentes entre el punto de bombeo y la lateral más lejana (presión de impulsión), a la cual se le adicionan las pérdidas de carga en el chupador de la bomba y el desnivel existente entre la superficie del agua y esta última altura de succión. Se agregan las pérdidas de carga de la válvula de retención, a la salida de la bomba y la llave de paso general del sistema.

Los requerimientos de potencia de la bomba pueden calcularse:

$$HP = \frac{Q * CDT}{75 * E_{fb} * E_{fm} / 100} \quad (24)$$

donde,

Q = caudal total (l/s)

CDT = Presión manométrica total (m)

E_{fb} = eficiencia de la bomba

E_{fm} = eficiencia del motor

LITERATURA CONSULTADA

FERREYRA, R. Y SELLES, G. 1994. Diseño de Sistemas de Distribución y Métodos de Riego. En: II Curso Internacional Diseño de Proyectos de Riegos y Drenajes. Santiago, 4-25 de octubre de 1994.

FUENTES Y., JOSE LUIS. 1992. Técnicas de Riego. Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA). Madrid, España.

HOLZAPFEL, E Y JARA, J 1990. Método de Riego en Frutales. En : Curso Internacional Manejo de Agua en Frutales. Chillán, 3-6 Enero 1990. Universidad de Concepción. Facultad de Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Depto. de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.

JEREZ, B., JORGE. 1995. Manual de Riego para el Sur el Chile. INIA, Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. Serie Carillanca N° 39.

JEREZ, B., JORGE. Riego por Aspersión: En: Curso de Riego para Agentes de Extensión. INIA, Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. Serie Carillanca N° 27.

MALDONADO, F., ISAAC. 1989. Riego por Aspersión. En: Varas, E. (ed.) Curso de Riego. Temuco, 3-4 Mayo 1989 INIA, Estación Experimental Carillanca, Temuco, Chile. Serie Carillanca N° 34.

ORTEGA. C., LEOPOLDO. 1993. Manejo del Riego por Aspersión. En: Curso Avanzado en Tecnología de Riego. Temuco, 15-16 de Diciembre, 1993. INIA, Estación Experimental Carillanca, Temuco, Chile. Documento Interno N° 27.