



GOBIERNO DE CHILE
INIA

BOLETÍN INIA Nº 35

ISSN 0717-4829

“DISEÑO, MANEJO Y MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA”

RAÚL FERREYRA E.
GABRIEL SELLÉS VAN S.
AGUSTÍN PIMSTEIN A.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

1. INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, la adopción de tecnologías de riego de alta eficiencia o de riego localizado, en nuestro país, ha presentado un crecimiento significativo, fundamentalmente por la incorporación de cultivos de gran rentabilidad, asociada por lo general a la actividad de exportación. Al respecto, resulta riesgoso entregar cifras de superficie con incorporación de riego tecnificado, dada la celeridad con que se siguen implementando proyectos de esta naturaleza, sin embargo, las últimas cifras oficiales entregadas por el CENSO Nacional Agropecuario (INE, 1997) señalan un total de 62.153 ha con riego localizado.

Quizás la cifra indicada no es relevante, comparándola con la superficie actualmente regada en Chile, pero es de gran significado si se piensa en los beneficios que la tecnología produce: mayor eficiencia, ahorro de mano de obra, incorporación de nuevos terrenos, etc.

En el caso específico de cultivos hortícolas, el desarrollo de la tecnología de riego no sólo se ha sustentado en aspectos de rentabilidad, sino también en criterios técnicos de manejo de cultivo en relación con el agua de riego. En tal sentido, hoy no se concibe, en la mayoría de los casos, la producción de cultivos bajo invernadero sin la incorporación de riego por cinta. Tal decisión lleva involucrada la necesidad de hacer más eficiente la aplicación y aprovechamiento del agua por el cultivo, a la vez de disminuir significativamente las pérdidas por evaporación desde el suelo, las cuales producen condiciones de alta humedad ambiental que favorecen el desarrollo de organismos patógenos.

Una situación similar se ve en el caso de los frutales, donde por la necesidad de mejorar la productividad, homogeneidad y calidad de la producción, cobra importancia la incorporación de sistemas de riego localizado, al mejorar significativamente la eficiencia en el uso del agua, la uniformidad del riego y las condiciones de humedad del suelo.

A pesar del fenómeno de desarrollo y adopción descrito, aún persisten algunos inconvenientes en el manejo de cierta información técnica, la que se desea exponer y reforzar en esta oportunidad. Principalmente se aportarán antecedentes sobre diseño, selección, manejo y mantenimiento de equipos.

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Los equipos de riego localizado permiten suministrar agua y fertilizantes en forma dirigida a la planta. El agua es conducida a cada planta a través de una red de tuberías y entregada por distintos emisores (goteros, difusores o cintas). En el terreno, el agua se distribuye formando un bulbo de mojado cuya forma y tamaño depende del tipo de suelo, caudal del emisor y tiempo de riego.

Una instalación típica de riego localizado está constituida por un cabezal de riego, aparatos de control hidráulico y una red de distribución (tuberías primarias o matrices, secundarias, terciarias y laterales que incluyen los emisores).

En la Figura 1, se presenta un esquema de un sistema de riego localizado con todos los

componentes señalados.

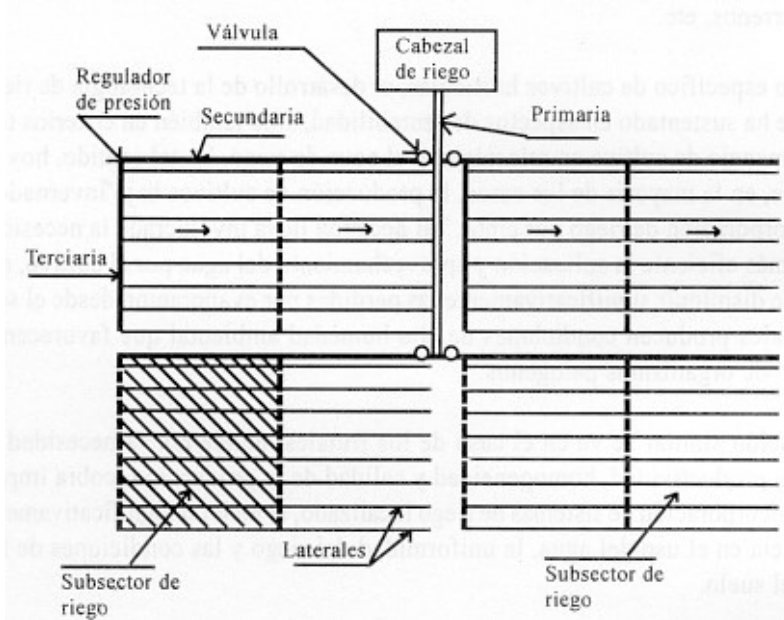


Figura 1. Esquema de sistema de riego localizado

2.1 CABEZAL DE RIEGO O CENTRO DE CONTROL

Se entiende por cabezal de riego o centro de control, al conjunto de equipos y elementos de riego utilizados para darle energía al agua, filtrarla, fertilizar y controlar presiones y caudales. En la Figura 2, se presenta un esquema de todos los componentes del cabezal de riego, que se detallan a continuación.

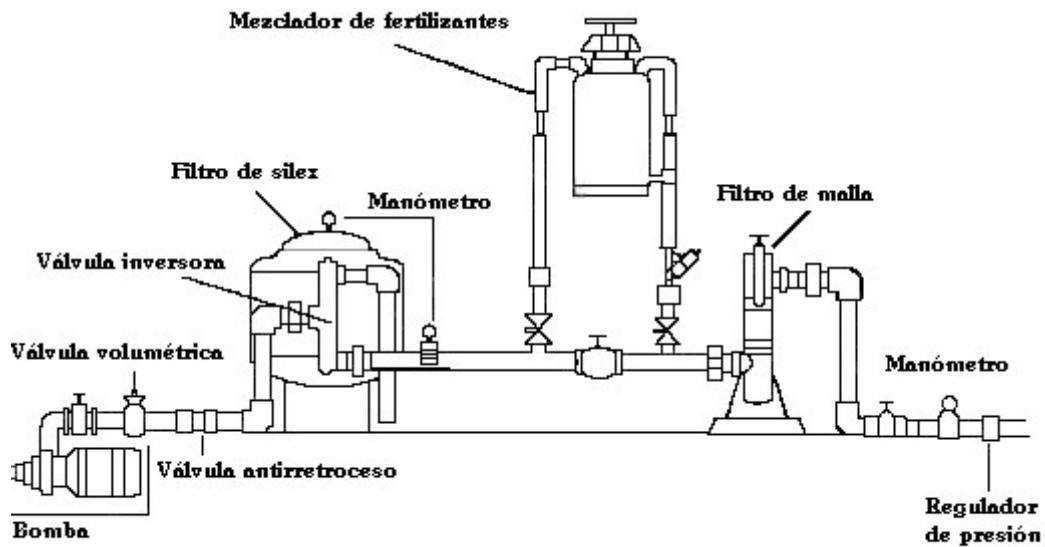


Figura 2. Cabezal de riego localizado

2.1.1 Motobombas

Las Motobombas adicionan energía al agua para que pueda moverse por las tuberías desde la fuente de agua hasta los emisores, permitiéndole a éstos un funcionamiento tal que responda a las características de fabricación.

Para riego localizado, generalmente se utilizan bombas de tipo centrífuga horizontal, con impulsor vertical conectado a un eje horizontal.

En la Figura 3, se presenta un esquema de una bomba centrífuga utilizada en riego localizado.

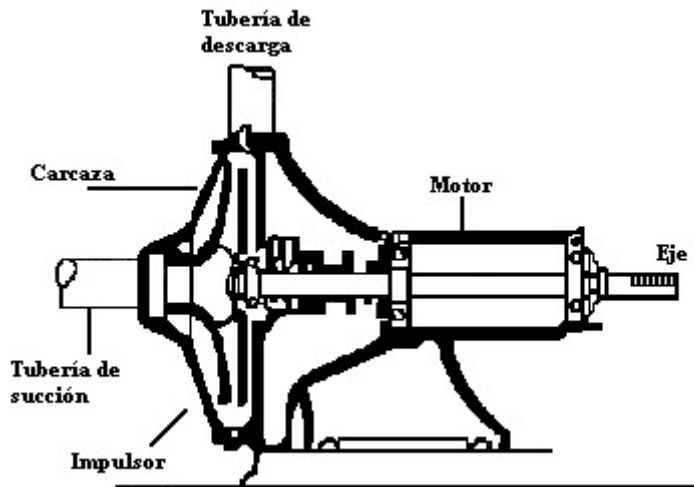


Figura 3. Esquema de bomba centrífuga

Actualmente, existen en el mercado una amplia variedad de marcas y modelos de bombas, las cuales, realizan una gran diversidad de trabajos, es decir que levantan diversos caudales en un amplio rango de presiones. Sin embargo, existen situaciones en las cuales, por problemas de eficiencia de operación o por un diseño determinado, se aconseja el empleo de más de una bomba. Cuando se requiere aumentar la presión del sistema, se pueden utilizar bombas instaladas en “Serie”, en tanto, que cuando se requiere aumentar el caudal, se pueden utilizar bombas en “Paralelo”.

Para definir la bomba a utilizar, es necesario definir los requerimientos de caudal y presión del sistema, aspectos que serán analizados en detalle en capítulos posteriores.

2.1.2 Equipos de filtrado

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego localizado, y en particular en las de goteo y cinta, es el de las obturaciones. Por ello es importante estar seguro que el equipo tiene los filtros adecuados en cuanto al tipo y tamaño. El tipo o tipos de filtros necesarios en una instalación de riego localizado, dependerá de la naturaleza y tamaño de las partículas contaminantes, según lo que se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Selección del filtro según el elemento contaminante

Contaminante	Hidrociclón – Separador	Filtro de grava o anilla	Filtro de malla
Arena	X		X
Limo y arcilla		X	X
Orgánicos		X	X

Separadores de arena (hidrociclones y separadores): Elementos utilizados en situaciones de agua con alta carga de arena en suspensión. Su funcionamiento se basa en la decantación

de las partículas de densidad mayor al agua, como se muestra en la Figura 4.

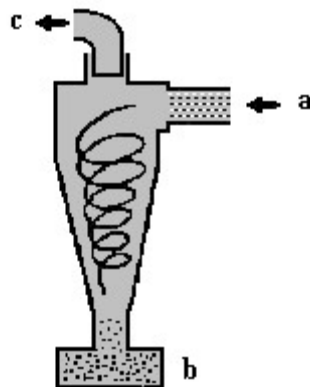


Figura 4. Esquema de funcionamiento del hidrociclón

En donde:

- a Entrada de agua
- b Recipiente acumulador arena
- c Salida de agua

Es importante que aguas abajo de estos separadores, se coloquen filtros que eviten el paso de contaminantes a la instalación, antes que el flujo alcance su velocidad de funcionamiento. Con estos dispositivos, gracias a un flujo vertical, se consigue separar hasta el 98% de la arena que sería retenida por un tamiz de 200 mesh, con las ventajas de que la frecuencia de limpieza y la pérdida de carga es mucho menor en el hidrociclón.

2.1.2.1 Filtro de grava o arena:

Consiste en tanques metálicos o de plástico reforzado, capaces de resistir las altas presiones de la red, rellenos de arena o grava (granito o sílice) tamizada de un determinado tamaño. El filtrado se produce cuando el agua circula por los poros que quedan entre las partículas de arena que componen el filtro, por lo tanto, la retención de impurezas se realiza en profundidad y en superficie. Este filtrado resulta de las siguientes acciones;

Tamizado: Fenómeno superficial que sólo puede retener partículas de tamaño superior al tamaño de los poros del filtro.

Sedimentación: Proceso que se produce en el espacio poroso, debido principalmente a la baja velocidad de circulación del agua, que en RLAF es del orden de los 60 m/h

Adhesión y Cohesión: Retención de partículas mucho menores que el tamaño de los poros a los granos de arena, por las fuerzas de atracción de origen eléctrico, que se crean al entrar en contacto ambas partículas.

Los filtros de grava son muy efectivos para retener la materia orgánica, pues, a través de todo el espesor de arena, acumulan grandes cantidades de algas antes de que sea necesaria su limpieza. También se usan para retener arcillas y arenas finas, sin embargo, es fundamental que sean complementados con un filtro de malla ubicado aguas abajo del filtro de grava. Actualmente, la limpieza de estos filtros se realiza en forma mecánica con la misma agua que se utiliza en el sistema (retrolavado), que puede ser manual o automático. En la Figura 5, se presenta un esquema de un par de filtros realizando un retrolavado.

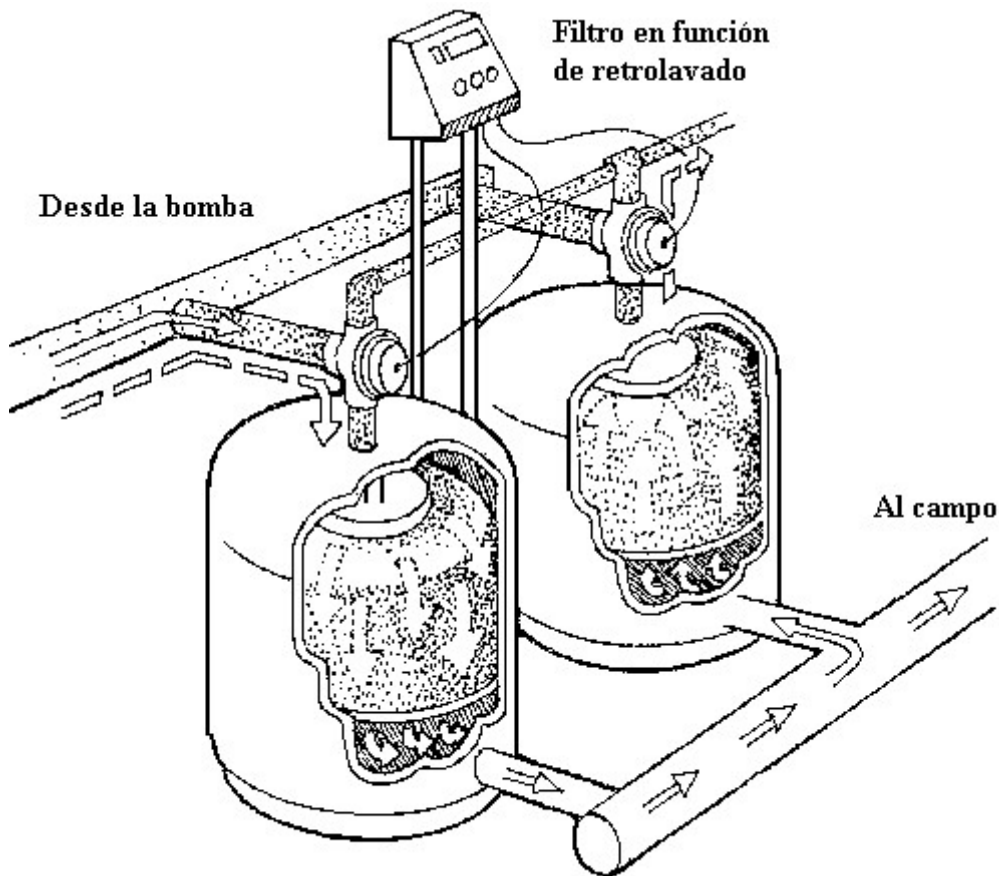


Figura 5. Filtros de gravas

2.1.2.2 Filtros de malla:

Normalmente se sitúan en el cabezal, inmediatamente después del tanque fertilizante. A diferencia de los filtros de grava que trabajan por superficie y profundidad, los filtros de malla sólo lo hacen por superficie, por lo que pueden retener menos cantidad de partículas sólidas y se colmatán con mayor rapidez.

Este tipo de filtros está compuesto por una serie de elementos que varían según las características de fabricación de las distintas empresas, no obstante, todos presentan los siguientes componentes básicos; Cuerpo, Tapa de Cierre, Cartucho (con la Malla adentro o afuera) y Entrada y Salida del agua. La ubicación de la malla, es decir si está por dentro o por fuera del

cartucho, está determinada por el lugar por donde entra el agua a éste. Si el agua entra por el centro y el filtraje se produce cuando sale del cartucho, la malla debe estar instalada por dentro, en cambio, cuando el agua se filtra cuando entra por las paredes del cartucho, la malla debe ir por fuera.

Las mallas pueden ser de acero inoxidable o de plástico (poliéster o nylon). La diferencia entre estos dos tipos de materiales, corresponde a que en mallas de igual número de orificios por pulgada lineal (mesh), los orificios de las mallas de acero son de mayor tamaño que en las de plástico.

En la Figura 6, se presenta un esquema de un filtro de malla típicamente utilizado en RLAF, que en general son de 200 mesh.

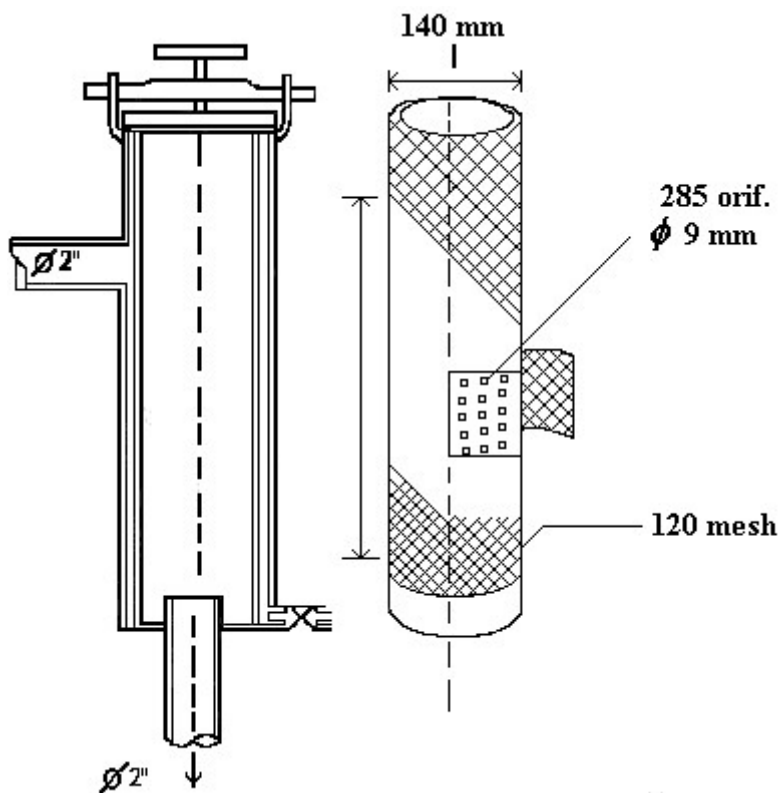


Figura 6. Filtro de malla

Como ya se señaló, uno de los inconvenientes de estos sistemas de filtraje es su rápida colmatación bajo algunas condiciones de funcionamiento. Por esta razón, a algunos modelos se les ha incorporado algunos mecanismos para eliminar dicho material en forma automática, para evitar así tener que parar el sistema constantemente para limpiarlo manualmente. Estos mecanismos pueden ser de variados tipos, como cepillos accionados por un motor eléctrico que sueltan el material retenido, para ser luego evacuados por una válvula de drenaje. Otra alternativa corresponde a aletas, accionados por igual mecanismo, que succionan este material; o bien un sistema hidrodinámico que aprovecha la misma velocidad del agua para succionar el material que no pasa por los filtros, el cual, es eliminado automáticamente por una válvula de drenaje cada cierto tiempo. Estos filtros pueden realizar la función del filtro de

grava y malla manual.

2.1.2.3 Filtro de anilla:

Corresponde a la nueva generación de filtros, los cuales, se caracterizan por su elemento filtrante; que es un disco ranurado superpuestos uno sobre otro a presión. Estos discos fabricados de polipropileno son de alta durabilidad y con alta capacidad de soportar altas presiones y las vibraciones producidas por el golpe de ariete.

Estos filtros tienen una capacidad de filtrado mayor a los filtros de malla, que fluctúa entre los 75 y 150 mesh, con otra positiva característica que es la menor pérdida de carga en comparación con un filtro de malla. La capacidad de filtrado de estos filtros, puede ser aumentada si se le instalan algunos elementos especiales, como un elemento helicoidal, en la base de las anillas lo que le da un efecto hidrociclónico.

Bajo estas condiciones y con sistemas autolimpiantes estos filtros pueden reemplazar a los filtros de grava; hidrociclón y filtro de malla manual.

2.1.3 Unidad de fertilización

Tanto los macro como los microelementos que el cultivo necesita, pueden ser incorporados en el agua de riego, siempre que sean solubles en ella. También pueden aplicarse ácidos (sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico), fungicidas, hipoclorito de sodio, etc. Para incorporar estos productos al sistema de riego es necesario contar con un tanque de fertilización y una unidad inyectora.

Los tanques de fertilización, en general, son depósitos de 20 a 400 litros, en donde se colocan dichos productos disueltos en agua. La unidad inyectora, corresponde al mecanismo utilizado para absorber la mezcla disuelta en el tanque e incorporarla a la red de riego. Actualmente existen variados tipos de unidades inyectoras, sin embargo son 3 los más utilizados; Inyección por la Succión de la Bomba, Inyector tipo Venturi e Inyector con Bomba Independiente.

2.1.3.1 Inyección por la Succión de la Bomba:

Corresponde al sistema más simple y económico existente actualmente. Consiste en la conexión de un arranque en la succión de la bomba, hacia un estanque donde se diluyen los fertilizantes y productos químicos a incorporar a la red de riego. Un esquema de este sistema de inyección de fertilizantes se presenta en la Figura 7.

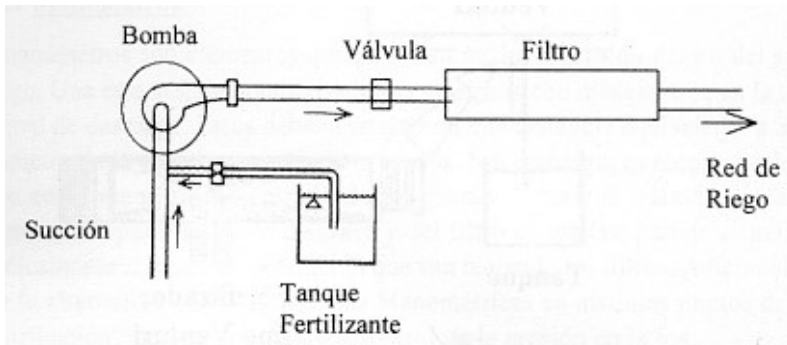


Figura 7. Inyección por succión de la bomba

Una de las desventajas que presenta este tipo de sistemas de inyección de fertilizantes es que por la constante circulación de productos químicos por la bomba, se produce un mayor desgaste del rodete de la bomba.

2.1.3.2 Tipo Venturi:

Son dispositivos muy sencillos que consisten en una pieza en forma de T y en su interior poseen un mecanismo Venturi, el cual, consiste en que por una disminución del diámetro por donde pasa el flujo, se produce un aumento de la velocidad de éste, lo que genera una succión. Este dispositivo generalmente se instala en paralelo (Figura 8), debido a que el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi, por lo cual los dispositivos más usados de este tipo se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión. Al instalarlo en paralelo es necesario que tenga una diferencia de presión entre la entrada y salida del orden del 20%. La capacidad de succión de la unidad inyectora tipo Venturi es reducida, recomendándose para instalaciones pequeñas. La mayor ventaja de este sistema fertilizador es su bajo costo y fácil mantención.

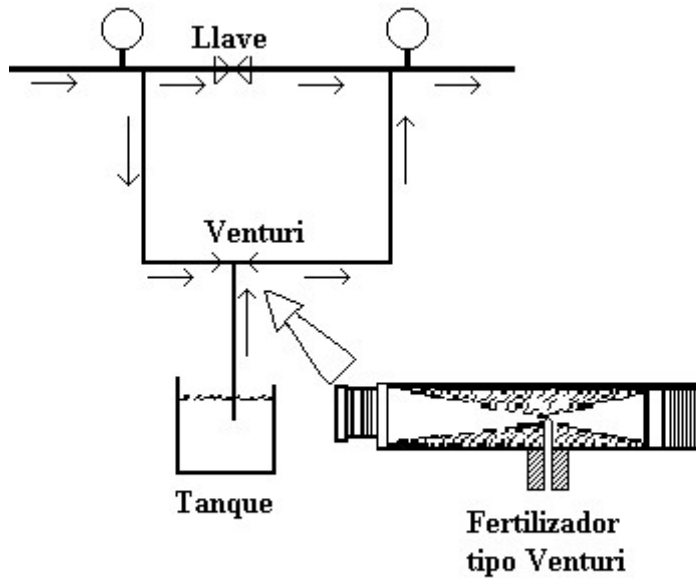


Figura 8. Inyector tipo Venturi

Para situaciones en que se requieren inyecciones mayores de fertilizantes, es necesario aumentar las diferencias de presión entre la entrada y la salida del venturi. Para esto, se puede instalar de una forma tal, que la entrada de agua al venturi provenga de la impulsión de la bomba y que la solución con fertilizante se incorpore a la succión de la bomba, produciéndose una mayor diferencia de presión. Otra alternativa muy utilizada en el medio, es la utilización de una bomba auxiliar para aumentar el diferencial de presión. La succión de estas bombas se conecta a la matriz del sistema de riego, en tanto que la impulsión se conecta al venturi, para incorporarse nuevamente a la matriz del sistema.

2.1.3.3 Inyección con Bomba Independiente:

Este sistema es el más utilizado en los equipos grandes, donde es necesario inyectar grandes cantidades de producto. Consiste en el empleo de una bomba utilizada exclusivamente para la incorporación de la mezcla a la red de riego y de un tanque de fertilizante abierto y sin refuerzos. La selección de la bomba a utilizar debe realizarse en función de las características del equipo de bombeo principal, ya que, la presión de trabajo de la primera debe ser mayor a la de la red. Algunos de estos inyectores permiten controlar con alta precisión la cantidad de agua y nutrientes aplicados, la conductividad eléctrica de la solución y el pH de ésta.

2.1.4 Equipos de medición y control

2.1.4.1 Manómetros:

Estos elementos necesario que una estación de bombeo sea equipada con manómetros en la tubería principal de descarga. Estos deben instalarse a una distancia equivalente a 5 veces el diámetro de la tubería, a partir de la bomba. Conviene además, instalar un manómetro después del filtro, para ir visualizando periódicamente el grado de obturación que van tenien-

do los filtros. Actualmente existe la alternativa de instalar Tomas Manométricas en distintos puntos de la red de distribución, para tener un mayor control de la presión en la red.

2.1.4.2 Válvulas de retención:

Estas válvulas, se instalan en la salida de cada bomba con el fin de impedir automáticamente el regreso del flujo hacia la bomba, cuando no está en trabajo.

2.1.4.3 Válvula reguladora de caudal:

Esta válvula tiene por función mantener a la bomba en los rangos de funcionamiento de presión y caudal adecuado, según los requerimientos del equipo. Esta válvula normalmente es del tipo de compuerta y se instala entre la bomba y el filtro.

2.1.4.4 Válvula reguladora de presión:

Corresponden a implementos utilizados para mantener una presión constante en la descarga, aunque en la entrada varíe el flujo o la presión. Estas válvulas son de gran utilidad en aquellos sistemas en que por efecto de la topografía o por la forma del área a tecnificar, deben quedar sectores de riego chicos, que por ende requerirán menor cantidad de agua, lo que podría generar sobrepresiones en el sistema. También son de mucha utilidad en aquellos sistemas donde se riega con distintos tipos de emisores, que podrían tener requerimientos de presión también distintos. Los más utilizados en RLAF son del tipo "Muelle", que consisten en una carcasa que aloja un obturador empujado por un muelle. El muelle tiende a mantener al obturador en la posición de máxima apertura.

2.1.4.5 Válvulas de aire (Ventosas):

Implemento de alta importancia para mantener un control adecuado del aire dentro de los sistemas de riego presurizados, que debe tanto evacuarse como ingresar al sistema en el momento adecuado. Estas válvulas deben instalarse tanto en el cabezal de riego como en el resto del equipo de riego. El lugar preciso para ubicarlas y el número necesario se presenta en el capítulo de aspectos hidráulicos.

La importancia de la evacuación del aire del sistema radica en que cuando el agua entra a las tuberías se empuja el aire, concentrándose en los puntos más altos o en los finales de las tuberías. En dichos lugares el aire puede formar bolsones que originan graves problemas de pérdida de carga, o bien, se pueden producir sobrepresiones que podrían causar la rotura de los tubos.

Existe otra condición en la que debe evacuarse aire del sistema, que es cuando este ya entra en régimen, de donde hay que evacuar pequeñas cantidades de aire en forma de burbujas.

El aire debe entrar en la red cuando hay una caída brusca de la presión en la tubería, ya sea por drenaje, paro de bombas, cierre de válvulas, rotura, etc., ya que esta situación acarrea un efecto de succión que produciría un colapso de la tubería por vacío.

Existen tres tipos de válvulas de aire que se instalan en distintos puntos del equipo, según sean las necesidades de este. A continuación se presenta una descripción con las características de trabajo de cada una de ellas.

- **Ventosa Cinética y Antivació**

Estas válvulas, evacuan grandes cantidades de aire cuando se está llenando la tubería y además, permite la entrada de altos volúmenes de aire de la atmósfera durante el proceso de vaciado de la red. Estas ventosas, dejan de funcionar cuando las tuberías se llenan y entran en régimen.

- **Ventosa automática**

Estas evacuan en forma continua, pequeñas cantidades de aire que en forma de burbujas existen en tuberías presurizadas en régimen.

- **Ventosa de Doble Propósito (combinada)**

Este tipo de ventosas combina las funciones de la ventosa cinética con las de automática, es decir, funciona tanto durante el proceso de llenado de la tubería (purgado) como en su vaciado (antivació) a través de un gran agujero que permite el paso de cantidades importantes de aire, a su vez trabaja con la tubería llena o en régimen evacuando, aquellas burbujas de aire que se depositan en los puntos altos de la red, a través de un orificio más pequeño que se ubica en el mismo cuerpo.

2.2 RED DE DISTRIBUCION

La red de distribución es la encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas y está compuesta por tubería de Conducción y Líneas Emisoras. La tubería de conducción, se puede dividir en primaria (o matriz), secundaria y terciaria, y generalmente son de Polivinilo de Carbono (PVC).

La tubería de PVC debe ir bajo tierra para evitar que la luz la destruya (cristalización), en tanto, en aquellas situaciones en que se deban dejar expuestas a la luz, deben pintarse con látex blanco, para evitar que se cristalicen. En lugares donde no se puedan realizar zanjas lo suficientemente rectas para instalar este tipo de tubería, debe reemplazarse por polietileno.

Las líneas emisoras o laterales, son de polietileno y generalmente se colocan sobre el terreno, pudiéndose si colocarlas enterradas bajo algunas situaciones.

2.2.1 Emisores:

Los emisores son dispositivos que controlan la salida del agua, desde las tuberías laterales y se caracterizan por reducir la presión del agua hasta prácticamente 0 m.c.a. Para seleccionarlos es necesario que cumplan con las siguientes características:

- Caudal relativamente bajo, pero uniforme y constante, siendo poco sensible a las variaciones de presión.
- Diámetro y velocidad de paso de agua, suficiente para que no se obture fácilmente.
- Fabricación robusta y poco costosa.

- Buena uniformidad de fabricación.
- Resistencia a la agresividad química y ambiental.
- Estabilidad de la relación caudal presión a lo largo de su vida.
- Poca sensibilidad a los cambios de temperaturas.
- Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

Los emisores se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a Gotero o Tubería de Goteo.
- b Microaspersor o Microjet.
- c Cinta.

2.2.1.1 Goteros:

Estos emisores, corresponden al tipo de emisor más antiguo dentro de los sistemas de riego localizado, siendo por ende el más difundido. Existen distintos tipos de goteros, los cuales, se diferencian principalmente por la forma en que se incorporan a los laterales de riego y se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Tipos de goteros

Tipo	Descripción	Funcionamiento
En línea "In – Line"	Corresponden a los del tipo de Largo Conducto (microtubo, helicoidal y laberinto) que se insertan en la tubería, cortándola.	La pérdida de carga, ocurre en un conducto largo y angosto por donde pasa el agua.
De botón "On-Line"	Corresponden a goteros que se insertan en una perforación que se realiza en una pared de la tubería de polietileno.	El tipo de funcionamiento, puede ser del tipo laberinto o bien de Vortex.
Integrados	Corresponden generalmente a goteros de Laberinto (sin cubierta) extruídos en la tubería	La pérdida de carga se produce por la tortuosidad del laberinto.

En la Figura 9, se muestran esquemas de los goteros En línea y De Botón.

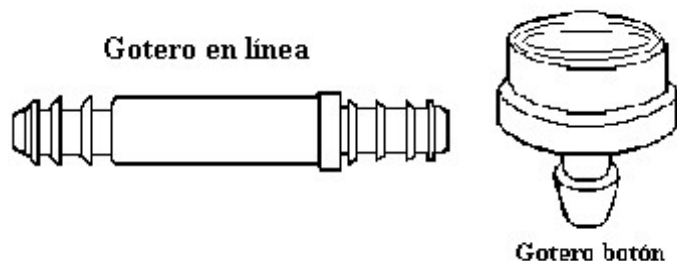


Figura 9. Goteros en línea y de botón

Una característica general de estos elementos, es que el caudal de emisión varía al variar la presión de trabajo. Esta variación depende del modelo, del caudal para el que fue diseñado y del diámetro de la tubería en la que van incorporados. Sin embargo, actualmente existen en el mercado otras alternativas de estos goteros que son AUTOCOMPENSADOS, lo que significa que la variación del caudal es mínima al variar la presión de operación. Se recomienda este tipo de emisores en aquellos sistemas de riego que son diseñados en sectores con altas pendientes.

En la Figura 10, se presenta la curva caudal – presión para estos dos tipos de emisores, que son ambos de caudal nominal 4 L/hr.

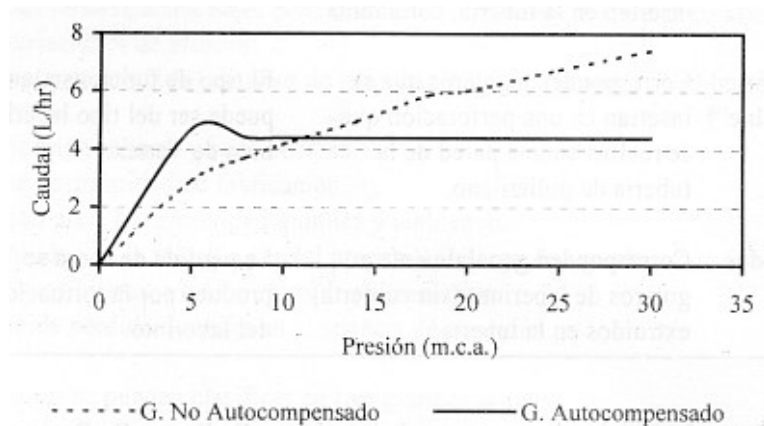


Figura 10. Curva Caudal – Presión. Goteros autocompensados y no autocompensados

En esta figura, se puede apreciar como aumenta el caudal de los goteros no autocompensados al aumentar la presión de operación. En tanto, en el caso de los autocompensados, sólo aumentan el caudal hasta que alcanzan una presión mínima de trabajo, manteniéndose después, en el caudal nominal.

2.2.1.2 Microaspersor (MA) y Microjet (MJ):

Los sistemas de riego, basados en el uso de este tipo de emisores, consisten en la aplicación del agua de riego como una lluvia de gotas a baja altura y distribuida en una superficie amplia. En muchos casos, presentan ventajas sobre los goteros, especialmente en aquellos cultivos de sistema radical superficial o en casos de suelos arenosos.

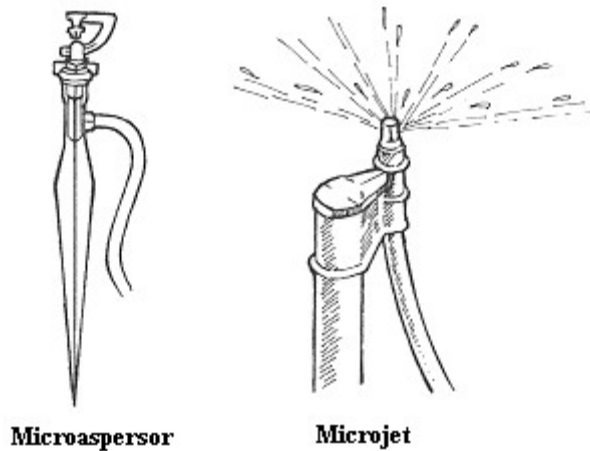


Figura 11. Microaspersor y Microjet

En la Figura 11, se presentan los respectivos dibujos de cada uno de estos emisores.

La diferencia entre estos emisores, es que los MA están compuestos por un dispositivo que rota aumentando el diámetro de mojado del emisor, en tanto en los MJ no disponen de piezas móviles.

El rango de caudales en este tipo de emisores, fluctúa entre 25 y 120 L/hr, el que está determinado por el diámetro de la boquilla que tenga y por la presión de operación. Este último factor, afecta de igual forma al diámetro de mojado, generándose diámetros mayores a mayores presiones. Este último aspecto es de vital importancia al momento de definir un sistema determinado, para evitar así que se produzcan daños por enfermedades, en especial en plantas frutales por mojado del tronco.

Al igual que en el caso de los goteros, existen alternativas de microaspersores para aquellos proyectos de riego que consideran la instalación en sectores con marcadas diferencias de pendiente, lo que genera diferencias de presión muy altas dentro de un sector de riego. Como estas diferencias de presión provocan importantes diferencias en el suministro de agua a las distintas plantas, es necesario utilizar microaspersores autocompensados.

En el caso de estos últimos, el caudal que suministran estos emisores, está determinado sólo por la boquilla que tiene incorporada, siendo el rango de entre 20 y 95 L/hr. En tanto, el diámetro de mojado, está determinado por el tipo de rotador que incluye, generando diámetros de entre 3,5 y 8,0 m.

2.2.1.3 Cinta de Riego:

Este tipo de emisores es ampliamente utilizado en la producción de hortalizas y flores del país. Las cintas son fabricadas de polietileno y su durabilidad está en directa relación con el espesor del material empleado, que fluctúa entre 0,1 mm y 0,6 mm; y con los manejos de mantención y limpieza que se realicen.

Este tipo de emisores, se caracteriza por estar compuestos por dos conductos paralelos, uno

principal (tubo de transporte) de donde el agua pasa a uno secundario (tubo de reparto) a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga; del conducto secundario el agua sale al exterior por un segundo orificio. El orificio que comunica los conductos principal y secundario lleva un pequeño filtro, en tanto que el conducto secundario presenta un canal regulador de flujo turbulento que produce la pérdida de carga final para la emisión del caudal especificado. En la Figura 12, se presenta un esquema de este tipo de emisores.

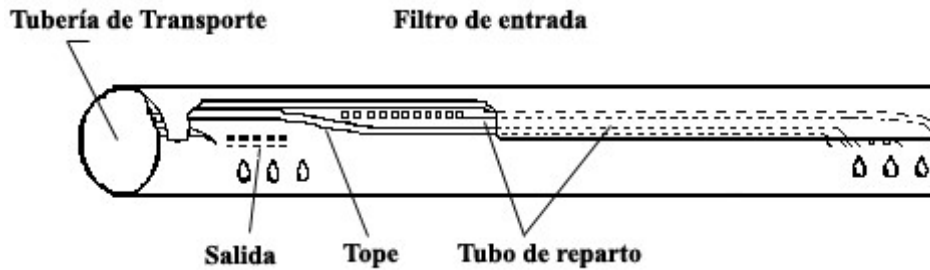


Figura 12. Cinta de riego

El espaciamiento entre los orificios de salida varía entre 20 y 60 cm. La presión de trabajo está comprendida entre 5 y 10 m.c.a. (0,5 y 1 BAR) y proporcionan caudales entre 0,8 y 9,5 litros por hora por metro lineal (L/hr/m); según la presión de operación, espaciamiento y tipo de orificios. Las cintas más utilizadas actualmente tienen orificios cada 20 cm y descargan un caudal de aproximadamente 5L/hr/m a una presión de trabajo de 7 m.c.a.

3. CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

El diseño de cualquier sistema de riego presurizado está compuesto por tres etapas; la Recopilación de Información Básica, el Diseño Agronómico y el Diseño Hidráulico. Los RLAF no se escapan a esto, por el contrario, requieren un alto nivel de precisión ya que buscan aplicar la cantidad de agua lo más exacta posible en relación con los reales requerimientos de agua.

Una característica muy importante del diseño de un sistema de riego localizado es que corresponde a una secuencia de análisis y cálculos, donde los primeros van sirviendo para las siguientes etapas. Así, la información que se recopila al inicio, es utilizada para el diseño agronómico y después, los datos generados a partir de éste último son utilizados en el diseño hidráulico.

3.1 RECOPIACION DE INFORMACION BASICA

Durante esta etapa, se debe juntar una importante cantidad de información imprescindible para las etapas posteriores. Gran parte de ésta, se toma directamente en el predio, proporcionando la información suficiente y las limitaciones a que habrá que ajustarse en el proyecto. Estos datos son:

- Plano Topográfico (Curvas de Nivel cada 1 m)
- Superficie del proyecto.
- Tipo de suelo.
- Tipo de cultivo.

- Marco de plantación.
- Caudal total disponible.
- Calidad del agua de riego.
- Disponibilidad de energía eléctrica.
- Horas que se puede regar cada día.
- Evapotranspiración potencial máxima diaria.

A partir de estos antecedentes, se efectúa el trazado de las distintas tuberías, pensando en conseguir una distribución de agua adecuada a un mínimo costo.

3.2 DISEÑO AGRONÓMICO

Esta etapa es el componente fundamental del diseño del sistema, debido a que define las cantidades de agua que podrán ser aplicadas al cultivo, por lo tanto, un error en esta etapa implica tener errores que en el posterior diseño hidráulico, lo que conlleva a pérdidas económicas.

El diseño agronómico se desarrolla en dos fases; Cálculo de los Requerimientos Hídricos y Determinación de la Dosis, Frecuencia y Tiempo de Riego, Número de Emisores por Planta y Caudal de los Emisores.

3.2.1 Requerimientos Hídricos:

Para efectos de un diseño de un sistema de riego localizado, interesa definir el requerimiento de agua "Punta", es decir, lo máximo que demanda el cultivo. Los requerimientos de agua de un cultivo o plantación determinada, están representados por la Evapotranspiración (ET), que corresponde al flujo de vapor de agua que se produce simultáneamente tanto en las hojas como en el suelo. Es producto de la suma del agua utilizada por las plantas en la transpiración y crecimiento, y aquella evaporada desde el suelo adyacente. Se mide normalmente en mm/día ó mm/mes.

3.2.2 Evapotranspiración Potencial (ET_o):

Corresponde a la demanda que se produce en una localidad en un momento determinado. Para esto, lo más sencillo es utilizar el método del Evaporímetro de Bandeja Clase A, que relaciona la evapotranspiración potencial con la evaporación de una superficie de agua libre, ya que es un buen integrador de los factores climáticos (radiación, velocidad del viento, temperatura y humedad del aire).

La metodología propuesta requiere de una superficie libre de agua de características normalizadas, para lo cual se ha convenido en adoptar el llamado estanque evaporímetro tipo A, normalizado por el Servicio Meteorológico de los EE.UU.

Se trata de un recipiente cilíndrico de lata galvanizada de 1.207 mm de diámetro, colocado sobre apoyos de madera que descansan sobre el suelo, como se presenta en la Figura 13. El fondo del estanque debe tener una diferencia de altura de 5 cm. con respecto a la superficie

del suelo y se debe llenar de agua limpia, procurando mantener el nivel a una distancia de 5 a 7,5 cm. del borde.



Figura 13. Evaporímetro de bandeja clase A

Para medir la evaporación se marca un determinado nivel de agua dentro del estanque. Utilizando envases de 0,1 y 1 litro, cada día, se vuelve a llenar hasta el nivel establecido. Un litro equivale a un milímetro de evaporación en el estanque. Así, por ejemplo, si se ha vertido dos veces el envase de 1 litro y una vez el de 0,1 litro, significa que la evaporación fue de 2,1 mm.

Aunque la pérdida de agua por el cultivo responde a las mismas variables climáticas, a las cuales, está afecta la evaporación que tiene lugar en la Bandeja Clase A, existen una serie de factores que tienden a producir diferencias entre ambas (ubicación, color, microclimas, inercia térmica, coeficiente de reflexión, entre otros).

La estimación de la E_{To} en función de la evaporación de bandeja (E_b), se basa en la Ecuación 1:

$$E_{To} = E_b \times K_p \quad (\text{Ecuación 1})$$

en donde:

E_{To} : Evapotranspiración potencial (mm/día)
 E_b : Evaporación de bandeja (mm/día)
 K_p : Coeficiente del estanque

El coeficiente del estanque (K_p), no puede ser considerado constante para cualquier situación, sino que varía de acuerdo con el color del estanque como con su ubicación, la velocidad del viento y la humedad relativa.

Para tener en cuenta todos estos factores, se han preparado tablas en donde aparecen los valores de Kp en función de la humedad del aire, condiciones de viento y ubicación del estanque. En general, para condiciones normales de verano (vientos moderados y humedad relativa entre 40 a 50%) Kp variará entre 0,6 y 0,8.

Una vez definida la Evapotranspiración potencial de una localidad en la época de máxima demanda, corresponde determinar los requerimientos del cultivo que interesa regar, es decir la Evapotranspiración del Cultivo (ETc). Esta ETc corresponde a la tasa de evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades, en condiciones óptimas de suelo, incluidas fertilidad y agua suficientes, y que dicho cultivo alcance su pleno potencial de producción en el medio vegetativo dado. Como se señaló, para diseño interesa determinar los máximos requerimientos, por lo tanto en el caso de la ETc, se debe considerar el cultivo en su estado adulto en el caso de las plantaciones frutales, o bien, en su última etapa de desarrollo para el caso de los cultivos anuales. En la Ecuación 2, se presenta la fórmula utilizada para determinar la ETc.

$$ETc = Eto \times Kc \quad \text{(Ecuación 2)}$$

en donde:

- ETc : Evapotranspiración de cultivo (mm/día).
 ETo : Evapotranspiración potencial (mm/día).
 Kc : Coeficiente de cultivo.

Los coeficientes de Cultivo, corresponden a la relación entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración potencial (ETo), cuando ambas se dan en condiciones óptimas de crecimiento. En el Cuadro 3, se presentan los coeficientes de cultivo, que presentan las especies frutales y hortícolas de mayor presencia en el país, durante sus respectivas época de máxima demanda.

Cuadro 3. Coeficientes de Cultivo (Kc) máximos

Cultivo	Kc
Frutales	
Manzano	1,25
Palto	0,85
Cerezo	1,25
Cítricos	0,65
Peral	1,15
Duraznero	1,15
Nectarino	1,15
Damasco	1,15
Ciruelo	1,15
Uva de mesa	0,90 – 1,0
Vides viníferas*	0,5

Hortalizas

Cucurbitáceas	1,00
Cebolla y Ajo	0,95
Tomate	1,05
Pepino	0,85

*Corresponde a valores utilizados en viñas, cuyo objetivo es la calidad.

Ya definida la evapotranspiración del cultivo, se deben determinar los requerimientos diarios de riego, los cuales, se determinan con la Ecuación 3.

$$\text{NRD} = \text{ET}_c \times \text{Au} \quad (\text{Ecuación 3})$$

en donde:

NRD = Necesidades netas de riego diario (L/día) por planta o por metro lineal del cultivo.

Au = Área unitaria asignada al cultivo o a la planta (m² por planta o por metro lineal del cultivo)

Este cálculo de las necesidades netas de agua corresponde a los requerimientos diarios, sin embargo, la frecuencia real de aplicación del riego se ajusta según las características de retención de humedad del suelo y de absorción de agua de las plantas. En términos generales, la frecuencia de cada evento disminuye en suelos de texturas arcillosas, en tanto que en texturas arenosas, la frecuencia aumenta.

Un paso posterior dice relación con el cálculo del tiempo de riego necesario para aplicar y suplir las necesidades hídricas de la planta en el período de máxima demanda. El cálculo se efectúa basándose en la Ecuación 4.

$$\text{TR} = \frac{\text{NRD}}{\text{N}_e \times \text{Q}_e \times \text{E}_a} \quad (\text{Ecuación 4})$$

en donde:

TR = Tiempo de riego (hr/día).

NRD = Necesidades netas de riego diario (L/planta/día).

N_e = Número de emisores por planta.

Q_e = Caudal del emisor en (L/hr).

E_a = Eficiencia de aplicación (90%).

Calculado el tiempo de riego máximo en el período de mayor consumo de agua, éste se relaciona con el número adecuado de horas para el funcionamiento continuo de un sistema de riego, para así determinar el número máximo de sectores de riego. En la Ecuación 5, se presenta la fórmula para determinar el número máximo de sectores a establecer, considerando

que se aconseja mantener el equipo funcionando continuamente por un tiempo menor a 22 horas.

$$S = \frac{22}{TR} \quad (\text{Ecuación 5})$$

en donde:

S = N° máximo de sectores a establecer.
TR = Tiempo de riego (horas).

Una vez definido el número de sectores, es necesario definir el Caudal Total de Diseño, que corresponde al caudal instantáneo máximo que se necesitará utilizar para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo. Para esto, se debe seleccionar el sector más grande de los diseñados y determinar cuanta es la cantidad de agua que necesita ese sector de riego. En la Ecuación 6 se presenta la relación a utilizar para determinar este caudal de diseño.

$$CD = \frac{NRD \times P}{1440} \quad (\text{Ecuación 6})$$

en donde:

CD = Caudal de diseño (L/min).
NRD = Necesidades netas de riego diario (L/día) por planta o por metro lineal del cultivo.
P = Número de plantas o Superficie del sector de riego (m²).

3.2.3 Selección de Emisores

Los tipos de emisores que se deben emplear en un sistema de riego localizado, están definidos por una serie de factores que se deben evaluar conjuntamente para lograr un buen resultado final en lo que se refiere a aprovechamiento del agua aplicada (eficiencia). Los factores más importantes que definen los tipos de emisores a utilizar son los siguientes:

- a Hábito de crecimiento del sistema radicular (profundo o superficial).
- b Tipo de suelo (texturas finas, medias o gruesas).
- c Diseño de plantación (marco de plantación tradicional, alta densidad o cultivo hilerado).

El número de los emisores a utilizar en el sistema de riego, determina el Porcentaje de Superficie Mojada del Suelo, por lo tanto, tiene alta importancia agronómica. En primer lugar, este porcentaje está determinado por los requerimientos de los distintos cultivos, que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentaje de Suelo Mojado (PSM) por grupo de cultivos

Cultivo	PSM (%)
Vides	30 – 35
Frutales	45 – 55
Hortalizas	55 – 65

Para lograr estos mojamientos, lo más aconsejable es realizar una prueba de campo y así definir el número de emisores requeridos por planta. Para esto, hay que tener una idea del tipo de emisor y su caudal aproximado que se va a utilizar. Después de realizar varios ciclos de humedecimiento con los emisores de prueba se excava el terreno y se determina el área y la profundidad que está mojando ese emisor. Es aconsejable probar emisores de distinto caudal para determinar además el más adecuado para las condiciones de suelo existentes.

En el Cuadro 4, se presenta una aproximación general del mojado que produce un gotero de 4 L/h a dos profundidades en distintas condiciones de textura y de estratificación de suelo.

Cuadro 4. Diámetro mojado por un emisor de 4 L/h

Profundidad de raíces y textura del suelo	Grados de estratificación del suelo		
	Homogéneo	Estratificado	En capas
	Diámetro mojado (m)		
Profundidad = 0,80 m			
Gruesa	0,5	0,8	1,1
Media	1,0	1,25	1,7
Fina	1,0	1,7	2,0
Profundidad = 1,70 m			
Gruesa	0,8	1,5	2,0
Media	1,25	2,25	3,0
Fina	1,7	2,0	2,5

En el Cuadro 5, se presenta el tipo y número de emisores más utilizados en el país, considerando los sistemas productivos y las condiciones de suelos existentes más comunes.

Cuadro 5. Tipos de emisores en distintas especies agrícolas

Cultivo	Tipo emisor	Observaciones
Manzanas y Peras	Gotero	Dos laterales por hilera de planta con goteros de 4 L/ha a 1 m sobre la hilera.
	Microaspersor	Un microaspersor por planta o cada dos plantas.
Carozos (duraznos, cerezos, etc.)	Gotero	Dos laterales por hilera de planta con goteros de 4 L/h a 1 m sobre la hilera.
Almendros	Gotero	Dos laterales por hilera de planta con goteros de 4 L/h a 1 m sobre la hilera.

Nogal	Microaspersor	Uno o dos microaspersores por planta.
Vides viníferas	Gotero	Un lateral por hilera de planta con gotero de 2 ó 4 L/h a 1 m sobre la hilera.
Vides de mesa	Gotero	Una o dos hileras por planta con gotero de 4 L/ha a 1 m sobre hilera.
Cítricos	Gotero	Dos laterales por hilera de planta con goteros de 4 L/h a 1 m sobre la hilera.
	Microaspersor	A lo menos 1 microaspersor por planta.
Palto	Microaspersor	Un microaspersor por planta.
Arándano	Gotero	Un lateral por hilera de planta con gotero de L/h a 1 m sobre la hilera.
Frambuesos, frutilla y hortalizas	Gotero	Un lateral por hilera de planta con gotero de 4 L/h a 0,5 m sobre la hilera.
	Cinta	Una o dos cintas por mesa con emisores cada 20 cm.

3.3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO

En este capítulo se entregan metodologías y criterios para el diseño hidráulico de los equipos de riego localizado.

En el diseño hidráulico, se contempla el dimensionamiento del equipo de bombeo y toda la red de tuberías (matrices, secundarias, terciarias y laterales) que lo componen. Para tal efecto, utilizando criterios de diseño preestablecidos, se calculan las pérdidas de carga (fricción y singularidades) de las diferentes combinaciones de diámetros y longitudes de tuberías. Finalmente se define una determinada combinación, que genera requerimientos de presión determinados para el caudal necesario.

3.3.1 Selección de Motobombas:

Para la selección de la bomba, hay que especificar 2 características relacionadas con los requerimientos operacionales del sistema, el caudal y la presión de trabajo. El caudal necesario, corresponde al Caudal Total del sector de riego más grande, metodología presentada en el punto anterior.

En tanto, la presión de trabajo de la bomba se define como Presión Dinámica Total que corresponde a la presión requerida para que el equipo pueda operar correctamente y que incluye todas las pérdidas que se producen desde la toma del agua hasta la entrega en el terreno.

La presión dinámica total, está compuesta por varias alturas parciales y pérdidas de carga que se producen en el sistema, las cuales, se representan en la Figura 14.

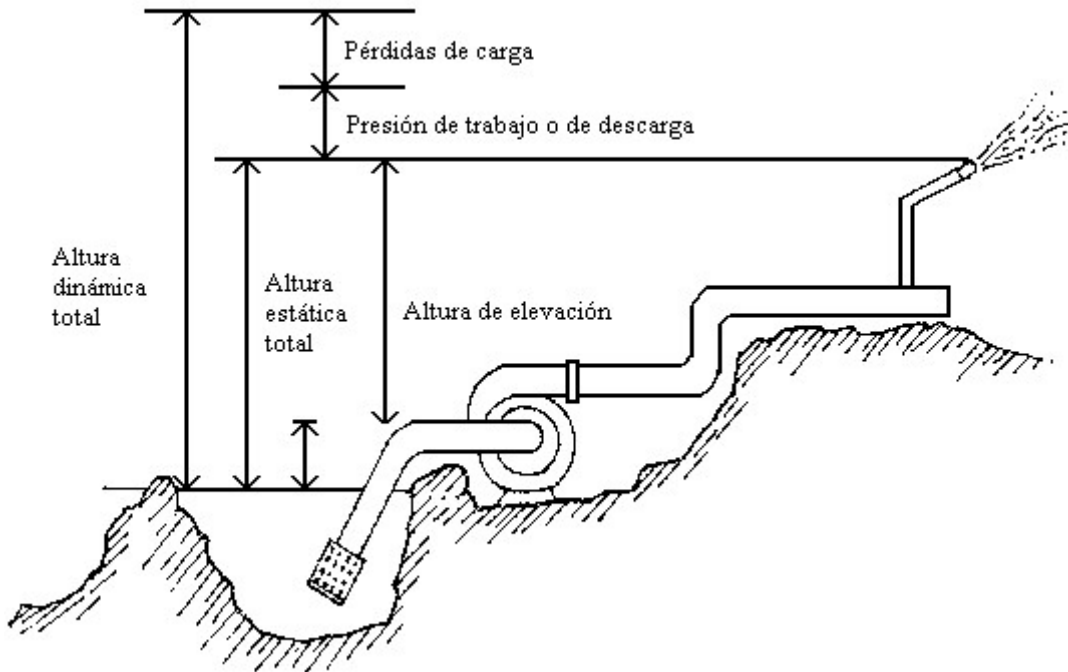


Figura 14. Detalle de presiones o alturas requeridas para un sistema de riego

- **Altura estática:** Corresponde a la diferencia topográfica entre el nivel de abastecimiento de agua y el nivel del agua en el punto de descarga (altura de elevación + altura de succión).
- **Presión de trabajo o de descarga:** Corresponde a la presión necesaria para que el emisor (gotero, microaspersor o cinta) funcione descargando el caudal para el cual fue diseñado (caudal nominal). Para el caso de los goteros y microaspersores, esta presión es del orden de los 10 m.c.a., en tanto que para las cintas es del orden de los 7 m.c.a.
- **Pérdidas de carga:** Corresponde a la presión necesaria para vencer las fuerzas de roce que se generan en las tuberías, filtros y accesorios por la circulación del agua. Este factor de la altura dinámica necesaria es de crucial importancia, debido a que puede significar el éxito o fracaso de una instalación determinada. Las pérdidas de carga en un sistema están determinadas por el diseño y el dimensionamiento del sistema y de los distintos componentes de este.

3.3.2 Dimensionamiento de Matrices Secundarias

El dimensionamiento de estas tuberías, está determinado principalmente por la velocidad con la cual circula el agua por ellas. Para las tuberías de PVC, se recomienda que esta velocidad sea inferior a 1,5 m/s. Para calcular la velocidad de circulación del agua en tuberías, se debe aplicar la Ecuación 7.

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \times 1.000 \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\pi \times D^2$$

donde:

v	=	Velocidad (m/s)
Q	=	Caudal (L/s)
π	=	3,14
D	=	Diámetro interno de la tubería (mm).

La pérdida de carga en las tuberías de PVC y de Polietileno, está determinada por el caudal, el diámetro interno de ésta y por el tipo de flujo que se produce en ellas. En tuberías de riego agrícola, las pérdidas de carga se pueden determinar con la ecuación de Darcy Weisbach y con la aproximación de Blasius. Esta ecuación, tiene una diferencia, dependiendo si se utilizan tuberías de menos de 125 mm de diámetro o de más de 125 mm, como se aprecia en las Ecuaciones 8 y 9, respectivamente.

$$hf = 7,89 \times 10^5 \times \frac{Q^{1,75} \times L}{D^{4,75}} \quad (\text{Ecuación 8, para diámetros inferiores a 125 mm})$$

$$hf = 9,59 \times 10^5 \times \frac{Q^{1,828} \times L}{D^{4,828}} \quad (\text{Ecuación 9, para diámetros superiores a 125 mm})$$

en donde:

hf	=	Pérdida de Carga (m.c.a.)
Q	=	Caudal (L/s)
L	=	Longitud de la Tubería (m)
D	=	Diámetro Interno de la Tubería (mm).

En el Cuadro 6, se presentan las pérdidas de carga que se producen en 100 metros de tuberías de diámetros menores de 125 mm, de PVC Clase 4, 6 y 10. La clase corresponde al espesor de la tubería y representa finalmente la resistencia que tienen a distintas presiones, siendo la máxima permitida 40, 60 y 100 m.c.a. respectivamente. Los caudales considerados corresponden a un amplio rango, los cuales, son los más utilizados en equipos pequeños y medianos.



Cabezal de riego.



Motobomba centrífuga del cabezal de riego.



Filtro de grava y filtro de malla.



Tablero eléctrico, filtro de grava, filtro de malla y válvulas de aire.



Tablero eléctrico con reloj programador.



Bomba inyectora de fertilizante.



Inyector de fertilizante con control de pH y conductividad eléctrica.



Estanque de fertilizante con bombas agitadoras.



Filtro de grava con válvula de retrolavado.



Válvula de retrolavado.



Válvula de aire en el cabezal y manómetro.



Válvula de selenoide.



Válvula de solenoide, válvula reguladora de compuerta y toma manométrica.



Válvula de aire y válvula de solenoide.



Válvula de aire y cargado de pulverizadora.



Riego por goteo.



Microaspersor.

250	235,4	0,02	0,08	0,17	0,29	0,43	0,60						
315	296,6	0,01	0,03	0,06	0,09	0,14	0,20	0,26	0,33	0,42	0,50		
355	334,2	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,28	0,34	0,40
400	376,6	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22

Clase 4

140	134,4	0,34	1,21										
160	153,6	0,18	0,64										
200	192,0	0,06	0,22	0,46	0,77								
250	240,0	0,02	0,07	0,16	0,26	0,39	0,55						
315	302,6	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,30	0,38	0,46		
355	341,0	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	0,17	0,21	0,26	0,31	0,36
400	384,0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,20

Aquellos casos en que no se observan valores en ambos cuadros, corresponde a situaciones en que se generan velocidades mayores a los 1,5 m/s, por lo tanto, hay que considerar tuberías de mayor diámetro.

Como se puede apreciar en los Cuadros 6 y 7, hay tuberías de un mismo diámetro pero que son de distinta **Clase**. Esta clase se refiere al espesor de la pared de la tubería, que diferencia por ende a las tuberías en la capacidad de resistir distintas presiones; así la Clase 10 resiste hasta 100 m.c.a., la clase 6 hasta 60 m.c.a. y la clase 4 hasta 40 m.c.a.

Para definir la presión máxima a la que va a estar sometida la tubería, no basta con determinar la presión dinámica total, sino que se debe considerar además el fenómeno de **Golpe de Ariete**. Este fenómeno se observa cuando en una línea de bombeo se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua. Este efecto genera una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual, es recibida en su interior y en el de las demás instalaciones como un impacto.

Este exceso de presión está determinado por la velocidad de circulación del agua en la tubería. Para tuberías de PVC, este exceso de presión conocido como golpe de ariete, queda definido en forma aproximada por la Ecuación 8 para cierre instantáneo.

$$GA = K \times V$$

en donde:

GA	:	Sobre presión por golpe de ariete (m.c.a.)
K	:	Factor para tuberías de PVC (24,3)
V	:	Velocidad interna del agua (m/s)

Como en un sistema de distribución de agua en tuberías, la velocidad no es constante debido a los cambios de diámetro de las tuberías, se debe considerar la mayor velocidad del sistema porque sería ese el que se transmite por toda la tubería.

Finalmente, para definir la clase de la tubería a utilizar, se deben analizar todas las presiones a las que va a estar sometido el sistema. En la Figura 15, se presenta un esquema de una conducción de agua desde una estación de bombeo hasta un punto de descarga.

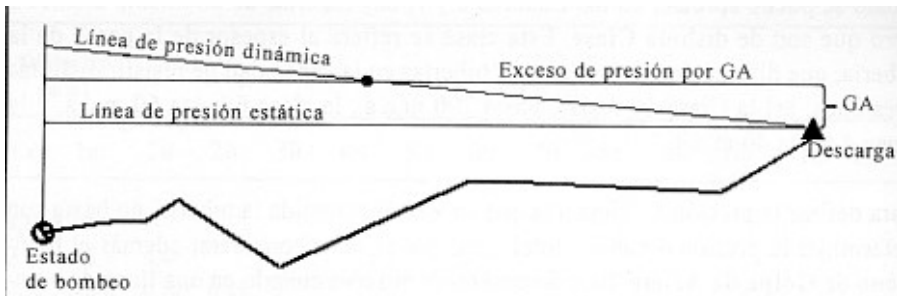


Figura 15. Esquema de línea de conducción

Como se puede apreciar, el exceso de presión por el golpe de ariete, se agrega a la presión estática del sistema, siendo mayor a la presión dinámica sólo al final de éste, cuando las pérdidas de carga han hecho disminuir la presión dinámica. Hasta el punto X de la figura, se debe considerar la presión dinámica del sistema para definir la clase de la tubería, en tanto que después del punto X, son el golpe de ariete más la presión estática las que definen la clase.

3.3.3 Dimensionamiento de Terciarias y Laterales

Para el caso del dimensionamiento de las tuberías terciarias y laterales, se deben considerar los requerimientos de presión y caudal de los emisores para mantener un Coeficiente de Uniformidad del sistema lo más cercano al potencial que tienen los sistemas de riego localizado de 90%.

En primer lugar se debe determinar la Tolerancia de Caudales permitida, para obtener un Coeficiente de Uniformidad alto en todo el sistema. Esto está referido a que la diferencia de los caudales sea tal, que la uniformidad de riego del sistema alcance el 90%, por lo tanto, se debe determinar el caudal que debe arrojar el último emisor de cada unidad de riego (caudal mínimo de la unidad). Para esto, se debe considerar el Coeficiente de Variación del emisor y su caudal medio, como se presenta en la Ecuación 10.

$$CU = \left(1 - \frac{1,27 \times CV}{\sqrt{e}}\right) \times \frac{q_{ns}}{q_a} \quad (\text{Ecuación 10})$$

en donde:

CU	=	Coeficiente de Uniformidad (0,9)
CV	=	Coeficiente de Variación
e	=	N° emisores por planta
q _a	=	Caudal medio (L/hr)
q _{ns}	=	Caudal mínimo de la unidad (L/hr)

Una vez conocido dicho valor, se debe determinar la presión necesaria para que se logre obtener ese caudal. Para esto, se debe utilizar la Ecuación de Descarga de los Emisores, que tienen la forma genérica que se presenta en la Ecuación 11.

$$h = \left(\frac{q}{K} \right)^{1/x} \quad (\text{Ecuación 11})$$

en donde:

h	=	Presión a la entrada de cada emisor (m.c.a.)
q	=	Caudal del emisor (L/hr)
K	=	Coefficiente de descarga (entregado por el fabricante)
x	=	Exponente de descarga del emisor (entregado por el fabricante)

Conocidos los valores de presión necesarios para lograr los caudales medios y mínimos, h_a y h_{ns} respectivamente, se determina con la Ecuación 12, la Tolerancia de Presiones, que corresponde a la pérdida de presión permisible en el sistema.

$$\Delta H = 2,3 \times (h_a - h_{ns}) \quad (\text{Ecuación 12})$$

en donde:

ΔH	=	Pérdida de carga permisible en el sistema (m.c.a.)
------------	---	--

Asumiendo que se pretende lograr un sistema de riego con un coeficiente de uniformidad del 90%, con coeficientes de variación y coeficientes y exponentes de descarga estándar de distintos emisores, se puede determinar el rango de tolerancia de presiones para distintas calidades de los emisores, las cuales, están determinadas por el coeficiente de variación de ellos. En el Cuadro 8, se presentan estos rangos, utilizando algunos valores estándar de emisores No Autocompensados. El caso de los coeficientes y exponentes de descarga, son valores utilizados sólo para ejemplificar la metodología presentada. Estos valores se mueven en un rango muy amplio y están determinados exclusivamente por las características de fabricación del emisor.

Cuadro 8. Tolerancia de Presiones

Emisores	Calidad del emisor	CV	X	K	ΔH (m.c.a.)
Goteros	Malo	0,1	0,85	0,6	2,0
	Regular	0,07	0,85	0,6	2,9
	Bueno	0,04	0,85	0,6	3,8
Microaspersores	Malo	0,065	0,65	10,0	1,3
	Regular	0,045	0,65	10,0	3,0
	Bueno	0,03	0,65	10,0	4,2
Cintas	Malo	0,17	0,75	0,2	3,1
	Regular	0,15	0,75	0,2	3,4
	Bueno	0,1	0,75	0,2	4,2

En términos generales, se asume que la mitad de esta pérdida de carga se produciría en el lateral y la otra mitad en la tubería terciaria.

Para el caso de los emisores autocompensados, el rango permisible de operación es más amplio, sin embargo, de todas formas hay que considerar lo que señala el fabricante, debido a que tienen una presión mínima a la cual descargan el caudal nominal.

Finalmente, para determinar el largo de cada lateral y de cada terciaria, se deben utilizar las Ecuaciones 5 o 6 de Darcy Weisbach multiplicado por el factor de salidas múltiples F de Christiansen, presentado en el Cuadro 9, que hace que disminuyan las pérdidas por el hecho de ir descargando agua a lo largo de la tubería. Este coeficiente está determinado por el número de descargas que se tienen en la tubería y por la homogeneidad de los caudales de estas descargas (Sf). Así para el caso de la determinación del largo de los laterales, se considera la columna de Sf = 1,0 que indica que por todas las salidas se descarga la misma cantidad de agua. En tanto, el Sf utilizado para la determinación del largo de las terciarias, se debe determinar al comparar el caudal del lateral más corto (q_n) con el del lateral medio (q_a) como se presenta en la Ecuación 13.

$$Sf = \frac{q_n}{q_a} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Cuadro 9. Coeficiente de Christiansen para Riego Localizado

n	Sf				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,500	0,544	0,649	0,802	1,000
3	0,382	0,447	0,546	0,675	0,831
4	0,335	0,403	0,493	0,616	0,756
5	0,310	0,378	0,469	0,582	0,714
6	0,294	0,362	0,451	0,560	0,686
7	0,283	0,350	0,438	0,544	0,667
8	0,274	0,342	0,428	0,533	0,653
9	0,268	0,335	0,421	0,524	0,642
10	0,263	0,330	0,415	0,517	0,634
11	0,259	0,326	0,410	0,511	0,627
12	0,256	0,322	0,406	0,506	0,621
13	0,253	0,320	0,403	0,502	0,616
14	0,251	0,317	0,400	0,499	0,612
15	0,249	0,315	0,398	0,496	0,608
16	0,247	0,313	0,395	0,493	0,605
17	0,246	0,311	0,394	0,491	0,602
18	0,245	0,310	0,392	0,489	0,600
19	0,243	0,309	0,390	0,487	0,598
20	0,242	0,307	0,389	0,485	0,596
22	0,240	0,305	0,387	0,483	0,592
24	0,239	0,304	0,385	0,480	0,590
26	0,238	0,302	0,383	0,478	0,587
28	0,236	0,301	0,382	0,477	0,585
30	0,235	0,300	0,380	0,475	0,583

35	0,234	0,298	0,378	0,472	0,580
40	0,232	0,296	0,376	0,470	0,577
50	0,230	0,294	0,374	0,467	0,574
75	0,227	0,291	0,370	0,463	0,569
100	0,226	0,290	0,369	0,461	0,566
200	0,224	0,288	0,366	0,458	0,563
> 200	0,224	0,287	0,364	0,457	0,561

Las pérdidas de carga, se ven afectadas también por la obstrucción que se produce por la inserción de cada emisor en el lateral. Esta pérdida depende del tamaño y tipo de conexión, y del diámetro interno del lateral. Para incorporar esta pérdida a las pérdidas totales del lateral, se determina una longitud equivalente del lateral en el cual se insertan los goteros. En la Figura 16 se presenta la gráfica que se utiliza para determinar esta longitud equivalente (f_e), para el caso de los emisores de botón o de los microaspersores, según el diámetro del lateral y del tamaño del conector. Para el caso de los goteros insertados, esta pérdida es constante para caudales que se mantengan dentro de los límites normales.

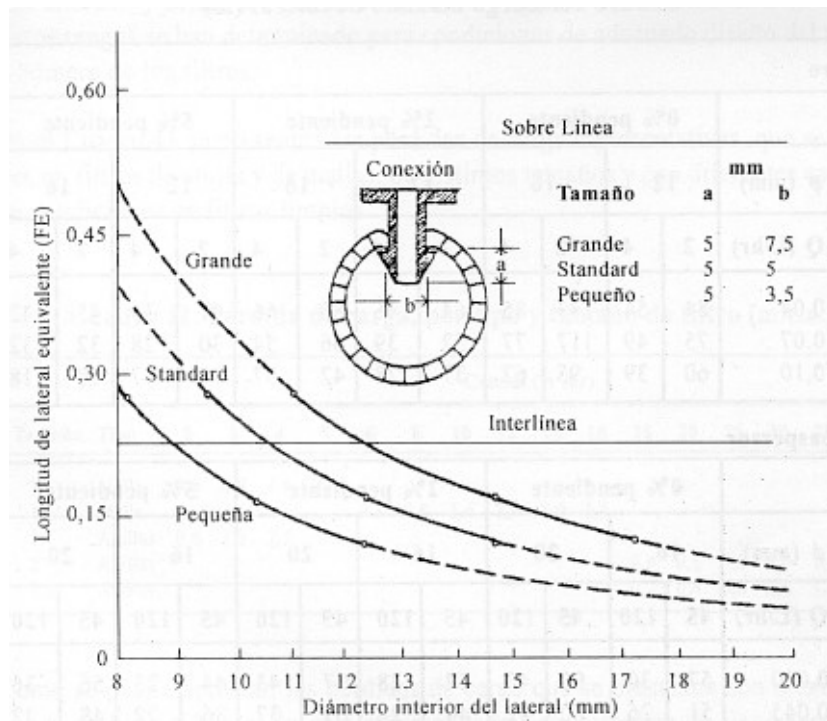


Figura 16. Longitud equivalente del lateral por pérdida de carga de conexión del emisor.

En el Cuadro 10, se presenta un ejemplo de largo máximo del lateral, para el caso de goteros y microaspersores en dos diámetros (ϕ) de tuberías y en tres condiciones de pendiente, considerando los criterios antes indicados (calidad del emisor (CV), caudal (Q), distribución del cultivo, etc.). Para el caso de los goteros se consideró una plantación de viñas, establecidas a 3 m sobre hilera con goteros "en línea" dispuestos a 1 m en un lateral. Para el caso de los microaspersores, se consideró una plantación de manzanos plantados a 4 m sobre hilera, con un microaspersor por planta.

Cuadro 10. Largo máximo de lateral (m)**Gotero**

	0% pendiente				2% pendiente				5% pendiente				
	12	16	12	16	12	16	12	16	12	16	12	16	
ϕ (mm)	12	16	12	16	12	16	12	16	12	16	12	16	
Q (L/hr)	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	
CV	0,04	84	54	133	85	64	46	85	66	41	35	45	42
	0,07	75	49	117	77	52	39	66	54	30	28	32	32
	0,10	60	39	95	62	37	28	42	37	18	17	18	18

Microaspersor

	0% pendiente				2% pendiente				5% pendiente				
	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	
ϕ (mm)	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	
Q (L/hr)	45	120	45	120	45	120	45	120	45	120	45	120	
CV	0,030	57	30	90	47	52	28	77	43	44	25	56	36
	0,045	51	26	80	42	44	24	65	37	36	22	48	32
	0,065	37	18	58	30	29	16	40	24	20	13	24	18

3.3.4 Dimensionamiento de Carga en Sistema de Filtraje

La pérdida de carga del sistema de filtros, está determinada por los siguientes factores; Tipo, Número y Tamaño de los filtros utilizados, además de las características de fabricación de cada uno de ellos y del grado de suciedad que vayan presentando. Los criterios involucrados para definir el tipo de filtro a utilizar ya se analizaron anteriormente, en tanto que la determinación del número y del tamaño de los distintos filtros a utilizar va a estar determinado principalmente por el caudal de circulación.

El taponamiento de los filtros afecta en forma progresiva a la pérdida de carga, a medida que el filtro se va colmatando. Por esta razón, se ha definido el rango de pérdidas de carga tolerable para que el trabajo que deben efectuar los filtros no se vea alterado y evitar así que se obturen los emisores del sistema de distribución. Estos rangos se han determinado para condiciones de adecuado diseño del tamaño y número de los filtros.

En el Cuadro 11 se presentan las pérdidas de carga representativas, que se producen en filtros de anilla y de mallas, de distintos tamaños y con diferentes caudales, en condiciones de filtros limpios.

Cuadro 11. Pérdida de carga, por tipo y tamaño de filtro (m.c.a.)

Tamaño	Tipo	Caudal (m ³ /hr)															
		2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	15	20	25	30	35	40
1"	Malla	0,3	0,8	1,4	2,3												
1½"	Malla					0,3	0,8	1,4	2,3	2,0	2,5						
1"	Anillas	0,6	1,2	2,5													
2"	Anillas											0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	
2½"	Anillas											0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4

Como se puede apreciar, las pérdidas de carga que se presentan son menores a 3 m.c.a., debido a que es lo más recomendado para sistemas de riego localizado. Estas pérdidas corresponden a las que se producen cuando el filtro está limpio, por lo tanto, a medida de que el filtro empieza a ensuciarse, las pérdidas de carga van aumentando. La recomendación general señala que cuando estas pérdidas llegan a entre 4 y 6 m.c.a. el filtro debe limpiarse, sin embargo, para efectos prácticos el filtro debería limpiarse todos los días después de haberse aplicado el riego. Para determinar estas pérdidas de carga, se debe instalar un manómetro o bien, tomas manométricas antes y después del filtro

Para el caso de los filtros de arena, las pérdidas de carga también fluctúan entre 1 y 2 m.c.a. cuando están correctamente dimensionados. En términos generales, se podría considerar la tabla presentada en el Cuadro 12 como la norma para la selección de los filtros de arena, considerando el caudal a filtrar.

Cuadro 12. Selección de filtros de arena

Nº de Unidades y Tamaño (pulg)	Caudal Maximo (L/min)
1 de 24"	210
1 de 32"	390
2 de 24"	470
2 de 32"	840
2 de 36"	1.060
3 de 36"	1.600
2 de 48"	1.900
3 de 48"	2.850

De igual forma que en los filtros de malla y anilla, la pérdida de carga aumenta considerablemente al obturarse los filtros, llegando aproximadamente a 7 m.c.a. Por el alto grado de suciedad que presentan las aguas, se requiere un constante control de esta pérdida de carga para activar el retrolavado. Sin embargo, actualmente, existen sistemas que pueden automatizar el retrolavado de estos filtros al fijar el diferencial de presión requerido en un presóstato que activa un sistema de retrolavado, para así evitar pérdidas excesivas de presión en el sistema. Debido a esto es recomendable considerar como pérdida de carga en filtros de malla y grava 7 a 10 m.c.a. para efectos de diseño.

Este último punto es uno de los que diferencia el hidrociclón de los sistemas de filtraje analizados anteriormente, debido a que el hidrociclón mantiene una pérdida de carga constante en el tiempo al trabajar con un caudal constante. En el Cuadro 13, se presentan las pérdidas de carga que se producen para distintas condiciones con el uso de estos sistemas.

Cuadro 13. Pérdida de carga en hidrociclón (m.c.a.)

Tamaño (pulg)	Caudal (L/min)										
	16,7	25,0	33,3	50,0	66,7	83,3	100,0	116,7	133,3	150,0	166,7
3"	0,4	1	1,6	4	7	10					
4"		0,3	0,5	1	1,7	2,5	3,5	4,6	6	7	9
6"				0,4	0,7	1	1,4	1,75	2,4	3	3,5

Por el alto contenido de material particulado fino en suspensión en los cursos de agua superficiales, el uso de filtros de arena y de hidrociclones, debe estar acompañado además por un filtro de malla para evitar que pase material contaminante a la instalación, por lo tanto, las pérdidas que allí se producen son aún mayores.

3.3.5 Pérdida de Carga en las Válvulas Solenoides

Para el dimensionamiento de las válvulas eléctricas o solenoides, se debe considerar además de la velocidad con que circula el agua al pasar por ella, la pérdida de carga que se produce en ella. Esta pérdida está determinada por el caudal de circulación y por el diámetro de la válvula. El caudal de circulación, corresponde al subsector que está a continuación de dicha válvula. En el Cuadro 14, se presenta una tabla de referencia con las pérdidas de carga que se pueden esperar para distintas situaciones.

Cuadro 14. Pérdida de carga en válvulas solenoides (m.c.a.)

Caudal (L/min)	Diámetro (pulgadas)			
	1"	1/14"	1 1/2"	2"
40	0,71			
60	1,30			
75	1,70	0,47		
95	2,50	0,75		
100	2,62	0,83	1	
200	7,04	3,29	1,7	0,9
300		7,35	2,9	1,8
400			5,2	3,4
500			8,6	5,3
600				8,8

A pesar de que se entregan estos valores, para los efectos de un diseño, es fundamental determinar exactamente las pérdidas que se van a originar, para lo cual, se debe considerar las especificaciones técnicas de la válvula (marca) que se va a utilizar y el caudal respectivo.

3.3.6 Definición de la Presión de Trabajo de la Bomba

Como ya se señaló, la presión de trabajo de la bomba, estaba definida por la altura estática total, la presión de trabajo de los emisores y las pérdidas de carga del sistema. A continua-

ción se presenta un ejemplo de cálculo de los requerimientos de presión de un equipo de riego por goteo.

En el Cuadro 15, se presenta un ejemplo del cálculo de los requerimientos de presión en un huerto de Manzanos regados por goteo con agua de canal, con las siguientes características:

➤ Marco de Plantación	4 m x 4 m
➤ Plantas por sector de riego	700
➤ Goteros por planta	4
➤ Caudal por gotero (L/hr)	4
➤ Caudal total por sector de riego (L/s)	3,1
➤ Diferencia de cota (m) (Nivel de agua – último emisor)	5
➤ Distancia Cabezal - Fin Terciaria en tuberías de PVC 63 mm (m)	150
➤ Largo de lateral (m)	45

Cuadro 15. Presiones necesarias para distintos componentes del equipo

Componente	Presión (m.c.a.)
Altura estática total	5,0
Presión de trabajo de los emisores	10,0
Pérdidas por filtro de arena	6,0
Pérdidas por filtro de malla	5,0
Pérdidas por fricción en tuberías	3,75
Pérdidas por fricción en lateral	1,0
Pérdidas por válvulas y fitting	3,0 (aprox.)
Presión de limpieza	5,0 (aprox.)
Presión total requerida	38,75 = 39

En la Figura 17, se presenta la curva característica de una bomba tipo, en la cual, se aprecia que mientras menor sea el caudal que levanta, mayor es la presión a la cual hace dicho trabajo.

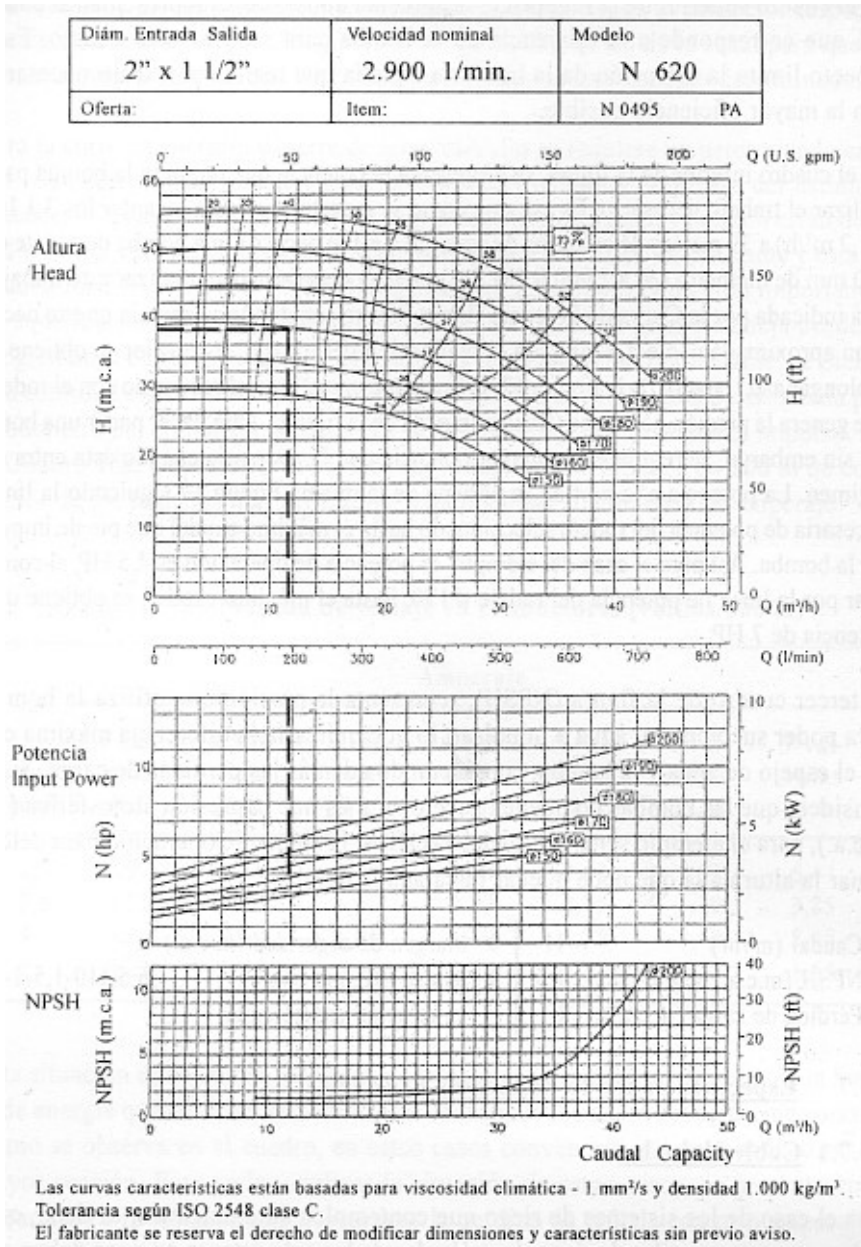


Figura 17. Curva característica de una bomba tipo

En el cuadro superior de la Figura 17, se aprecian unos valores representados como $\eta\%$ que corresponde a la eficiencia de la bomba para realizar este trabajo. Este aspecto limita la selección de la bomba a aquella que realice el trabajo necesario con la mayor eficiencia posible.

En el cuadro inferior de la figura, se representa la potencia que requiere la bomba para realizar el trabajo necesario. Es así, que como se muestra que para levantar los 3,1 L/s a 39 metros de columna de agua (m.c.a.) se necesita una bomba de rodete de 170 mm de diámetro (ϕ) a 2.900 RPM. La potencia necesaria para realizar este trabajo, está indicada por la Curva de Potencia (Input Power), en donde se aprecia que se necesitan aproximadamente 4,5 HP para la realización del trabajo. Para hacer partir una bomba, se requiere una mayor potencia

que la necesaria cuando ésta entra en régimen. Esta potencia a la partida está indicada en el segundo cuadro de la Figura 17, como la potencia necesaria para impulsar el máximo caudal que puede levantar la bomba del rodete seleccionado. Así para el caso del ejemplo, el motor debería ser de por lo menos 7 HP.

El tercer cuadro de la figura (NPSH), representa la presión que utiliza la bomba para poder succionar el agua a impulsar, lo que indicaría la diferencia máxima entre el espejo de agua y la bomba, considerando además las pérdidas de carga. Si se considera que las bombas no pueden succionar más que la presión atmosférica (10 m.c.a.), para el ejemplo señalado se debe realizar la siguiente operación para determinar la altura a la que debe quedar instalada la bomba.

➤ Caudal (m ³ /hr)	11
➤ NPSH (m.c.a.) según tabla	1,5
➤ Pérdida de carga (m.c.a.)	1
➤ Margen de seguridad (m.c.a.)	2
➤ Altura máxima de la bomba en relación al espejo de agua	5,5 (10-1,5-1-2)

3.3.7 Especificaciones de Elementos Especiales

3.3.7.1 Cable Unipolar

Para el caso de los sistemas de riego que contemplen automatismos, es decir, que incluya un programador de riego, las válvulas de los subsectores de riego deben ser del tipo automáticas o con solenoide. Estas válvulas están normalmente cerradas y por medio de un estímulo eléctrico se abren para que riegue el subsector respectivo. Este estímulo eléctrico lo genera el programador, quien da la señal para que se abran las válvulas a las que les corresponde regar en un momento determinado.

Para la correcta apertura y cierre de estas válvulas se requiere un determinado caudal, una determinada presión y un determinado voltaje y amperaje del estímulo eléctrico. Como ya se mencionó, los requerimientos de caudal y presión están definidos por el tamaño de la válvula. El requerimiento eléctrico es constante y está en torno a los 24 volts (V) y a los 0,4 amperes (A). Este punto es de vital importancia en aquellos sistemas en que las válvulas están ubicadas a gran distancia desde el programador de riego, debido a que en el trayecto recorrido por el cable, se pierde una cantidad significativa de voltios. Esta pérdida de voltaje, está determinada por el diámetro del conductor (alambre) y por el amperaje que presenta el impulso. En el Cuadro 16a, se presenta la pérdida de voltaje que se produce en 100 m de conductor de los tamaños más utilizados, para distintas condiciones de amperaje.

Cuadro 16a. Pérdida de voltaje en conductores (voltios/100 m)

Sección (mm ²)	Amperaje						
	1 válvula 0,4	2 válvulas 0,8	3 válvulas 1,2	4 válvulas 1,6	5 válvulas 2,0	6 válvulas 2,4	7 válvulas 3,0
1,5	0,92	1,84	2,76	3,68	4,60	5,52	6,44

2,5	0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85
4	0,35	0,69	1,04	1,40	1,75	2,10	2,45
6	0,23	0,46	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61

Esta situación es de mucha importancia también en aquellos predios donde la fuente de energía que se tiene, está ubicada a demasiada distancia del centro de control. Como se observa en el cuadro, en estos casos convendría utilizar conductores de mayor sección. Para poder analizar la situación de estos casos, se presenta en la Ecuación 14 la fórmula para determinar la pérdida de voltaje con otro amperaje y en otras distancias.

$$\Delta V = 2 \times \frac{L}{1000} \times \frac{17,25}{S} \times A \quad (\text{Ecuación 14})$$

en donde:

DV	=	Pérdida de voltaje (voltios)
L	=	Largo del trayecto (m)
S	=	Sección del conductor (mm ²)
A	=	Amperaje máximo.

En el Cuadro 16b se presenta la longitud máxima que se puede utilizar con diferentes diámetros de cable unipolar.

Cuadro 16b. Longitud Máxima de Cables (mts) 24V

Presión 70 m (100 psi) Cable Activo					Presión 56 m (80 psi) Cable Activo					
mm ²	1,0	1,5	2,0	3,3	mm ²	1,0	1,5	2,0	3,3	
1,0	700				1,0	910				
1,5	860	1120			1,5	1120	1450			
2,0	1000	1370	1770		2,0	1310	1780	2310		
	3,3	1120	1600	2180	2820	3,3	1460	2080	2840	3670

El cable común debe ser igual a, o un tamaño más grande, que el cable activo.

3.3.7.2 Válvulas de aire (ventosas):

Para la definición de la ubicación y determinación de la cantidad de estas válvulas, se señalan a continuación los lugares críticos en los cuales, es fundamental la instalación de una o más tipos de válvulas de aire.

- **Centro de Control**

Una **ventosa de doble propósito** debe ir instalada **entre la bomba y la válvula de retención**. La acción cinética de esta válvula, permite la salida de altos volúmenes de aire al partir la bomba, hasta que al agua abre la válvula de retención y levanta el flotador de la válvula cerrando el orificio cinético. Al parar la bomba, este orificio se abre, permitiendo la entrada de aire y actuando como antivació, protegiendo a la bomba y accesorios a pre-

siones sub-atmosféricas (succión). El orificio automático de esta válvula, libera el aire durante la operación del sistema, previniendo que las burbujas producidas caviten la bomba. Una segunda **ventosa de doble propósito** debe ir instalada **después de la válvula de retención**, para que entre aire al pararse la bomba para evitar el efecto vacío en la red de distribución. Además, evita que se produzca una sobre presión al devolverse la columna de agua cuando se cierra la válvula de retención.

- **Filtros**

Antes de la entrada a los filtros, sobre los filtros y después de ellos, debería ir instalada una **ventosa de doble propósito**; para evitar la entrada de aire a los filtros, para permitir un correcto retrolavado y evitar así que se produzcan condiciones de succión que puedan dañar tanto los filtros como otros componentes del cabezal.

- **Red de Distribución**

En la red de distribución, deben instalarse **ventosas automáticas cada 400 m y de doble propósito al final de todos los tramos horizontales**; en tanto, en los **tramos de tuberías con pendiente**, el tipo de ventosa a instalar debe ser de **doble propósito**. Además de estas, deben instalarse de estas últimas en todos aquellos **puntos altos del sistema**, en especial cuando la velocidad de diseño es menor a la velocidad crítica para transporte de aire, las cuales, se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Velocidades críticas para transporte de aire (m/s)

Velocidad Crítica	Diámetro de la Tubería (mm)							
	32	40	50	63	75	90	110	125
	0,71	0,73	0,75	0,79	0,82	0,85	0,90	0,94

Otro punto de importancia donde se deben instalar **ventosas automáticas**, es **antes de las válvulas de los sectores de riego** en la tubería secundaria, para que se libere el aire de la tubería mientras esas válvulas están cerradas y para evitar que las burbujas de aire hagan cavitación la columna de agua que mantiene abierta dicha válvula. **Después de estas válvulas**, se debe instalar una **ventosa de doble propósito** para proteger a la tubería del efecto de vacío.

La importancia de estas ventosas es además, la protección que se genera al evitar que cuando el sistema se detiene, entren partículas de suelo por los emisores al evitar que se produzca una succión.

A estos lugares de la red de distribución, se deben agregar otros donde se produce algún tipo de turbulencia o cambios bruscos de pendiente, como son **antes de las válvulas reguladoras de presión o cuando la tubería debe cruzar un camino**, donde se deben instalar **ventosas automáticas y de doble propósito**, respectivamente.

Como se puede observar en el Cuadro 18, el tamaño de las ventosas a instalar en cada uno de los puntos anteriormente señalados, está determinado por el diámetro de la tubería respectiva.

Cuadro 18. Diámetro de Ventosas

Φ Ventosa (pulg)	Diámetro tubería (mm)				
	32 - 90	90 - 250	300 - 400	450 - 550	600 - 900
	1"	2"	3"	4"	5"

Además del lugar, tipo y tamaño de las ventosas a instalar, el número de cada una de ellas a instalar en cada punto es tan importante como los aspectos anteriores. Este depende del tipo de trabajo que van a estar realizando las distintas ventosas. Para el caso de las **ventosas automáticas**, el número de unidades necesarias está determinado por el caudal del sistema y por la presión en el punto determinado. En el Cuadro 19, se presenta el número de ventosas automáticas necesarias en cada localización, según lo señalado.

Cuadro 19. Número de ventosas automáticas, por caudal y presión del sistema

Presión (m.c.a.)	Rango de caudal (L/s)				
	1 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 90
10 - 30	1	2	4	5	7
30 - 50	1	2	2	3	5
50 - 70	1	1	2	2	4
70 - 90	1	1	2	2	3
90 - 110	1	1	1	2	3

En el caso de las **ventosas cinética y antivació y ventosas de doble propósito**, la determinación del número necesario en cada lugar, dependerá en primer término del principal trabajo para el que fue instalada. Cuando el principal trabajo de la válvula es durante el llenado de la tubería, bastaría con una ventosa.

Para el caso de aquellas ventosas cuyo trabajo más importante lo realizan durante el vaciado de la tubería, el número de ventosas a instalar en cada punto seleccionado, dependerá de la pendiente del terreno y del diámetro de la tubería. En el Cuadro 20, se presenta el número de ventosas necesarias para pendientes de hasta 50% y para tuberías de hasta 180 mm de diámetro.

Cuadro 20. Número de ventosas cinética y antivació y de doble propósito, para protección de antivació, por pendiente y diámetro de tubería

Presión (m.c.a.)	Diámetro tubería (mm)		
	32 - 110	125 - 140	160 - 180
5 - 15	1	1	2

15 – 35	1	2	3
35 – 50	1	2	4

Reguladores de presión

Los reguladores de presión corresponden a elementos que mantienen la presión aproximadamente constante, en unos casos aguas arriba del regulador y en otros aguas abajo. En el primer caso se denominan sostenedores de presión y en el segundo reductores de presión. Sin embargo, en la práctica del riego localizado, se denominan reguladores a una sola de las dos variantes, concretamente a los reductores de presión. La regulación de la presión puede tener dos finalidades distintas:

- Mantener la uniformidad del riego. El caso típico es el de los reguladores que se instalan al principio de cada subunidad de riego.
- Proteger las instalaciones contra presiones excesivas.

En el caso del riego localizado, el más utilizado corresponde al Regulador de Muelle, que se instalan al principio de las subunidades. Este tipo de reguladores, está compuesto por una Carcaza, un Obturador y un Muelle.

Como se señaló, los reguladores de presión mantienen una presión aproximadamente constante, la cual, va a estar determinada por la Presión Nominal para la cual esté diseñado, por la Presión de Entrada y por el Caudal de circulación. En el Cuadro 21, se presentan los rangos de funcionamiento de reguladores de distintas presiones nominales de diseño.

Cuadro 21. Rango de funcionamiento de reguladores de muelle

P° nominal (m.c.a.)	Caudal (L/min)	Presión de entrada (m.c.a.)									
		7,0	10,5	14,0	21,0	28,0	35,0	42,0	49,0	56,0	63,0
7,0	37,9	7,21	7,35	7,35	7,7	7,7	7,84	7,91	8,05		
	75,7	6,65	7	7	7,21	7,35	7,49				
	121,1	5,6	6,44	6,65	6,79	6,93					
10,5	37,9		10,7	11,1	11,2	11,2	11,3	11,6	11,7		
	75,7		10,2	10,6	10,8	10,9	11,1				
	121,1		8,96	9,94	10,1	10,3					
14,0	37,9			14,5	14,6	14,7	14,8	14,8	15,1	15,3	
	75,7			14	14	14,1	14,4	14,5			
	121,1			9,45	13,1	13,3	13,4	13,7			

Para definir la elección de un regulador de presión es importante tener presente algunos factores adicionales que influyen en el funcionamiento, los cuales, se detallan a continuación:

- Posibilidad de regulación de la presión nominal
- Posibilidad de apertura para la limpieza
- Precisión, que debe estar comprendida entre $\pm 7\%$ de la presión nominal

3.4 Instalación de Sistema de Riego Localizado

La instalación de un sistema de riego localizado, es una labor que no está exenta de detalles, los cuales, son fundamentales para lograr una correcta aplicación del agua, junto con asegurar una larga vida útil de los materiales empleados.

A continuación, se presenta una lista de pasos a seguir en el proceso de instalación.

- a. Basándose en el diseño, estacar y marcar en terreno donde se ubicará el cabezal de riego y por donde pasarán las tuberías matrices y submatrices (secundarias y terciarias).
- b. Estacar además, cada subunidad de riego, donde se distribuirán los laterales de riego.
- c. Excavar zanjas donde se instalarán las tuberías matrices y submatrices. La profundidad de estas zanjas, está determinada por el diámetro de la tubería y por el tipo de tránsito al que se ve afectado el lugar. En el Cuadro 22, se presenta las dimensiones de las zanjas, según estas características.

Cuadro 22. Recomendaciones para construcción de zanjas

Diámetro tubería (mm)	Ancho zanja (cm)	Profundidades mínimas	
		Tráfico liviano (m)	Tráfico pesado (m)
20	40	0,60	0,60
25	40	0,60	0,60
32	40	0,60	0,60
40	40	0,65	0,65
50	40	0,65	0,65
63	40	0,70	0,80
75	40	0,70	0,90
90	40	0,70	1,00
110	40	0,70	1,30

Es importante señalar, que en el caso de aquellos sectores donde van las secundarias y terciarias juntas, el ancho de la zanja debe ser mayor (60 – 70 cm), para que quepan ambas tuberías.

- d. Un aspecto importante en la instalación de estos sistemas de riego presurizados, es la correcta colocación de las tuberías y de sus respectivos elementos para lograr llegar con el agua a todos los lugares de la superficie a regar.
- e. El pegado de las tuberías entre ellas, o bien con los fitting que se pegan a ellas (T, codos, terminales, reducciones, etc.), debe realizarse utilizando un pegamento especial para PVC. Esta operación debe realizarse con los elementos a pegar secos y limpios.
- f. Aquellos elementos como filtros, válvulas, tapones, etc. que tienen un hilo para que sean atornillados, se unen al sistema mediante terminales, que se denominan HE si tienen el hilo externo, o HI si tienen el hilo interno. Para evitar filtraciones se debe utilizar además un material llamado "Teflón" que se pone en el terminal en el lugar del hilo.

- g. La perforación de la tubería terciaria, que es donde se conectan los laterales de riego o las cintas, debe realizarse con una broca que cuenta de dos partes, una sierra copa 5/8" y una toma sierra A – 4. En estos orificios, se instala un conector PVC – Polietileno junto con una goma que lo sella, llamada "Gromit".
- h. Los finales de las tuberías matrices, secundarias y terciarias, se sellan con un tapón con hilo que se debe sacar a la superficie mediante codos. Esta alternativa es mejor a la colocación de tapones por pegar, para poder limpiar fácilmente las tuberías durante la temporada.
- i. Antes de haber iniciado la instalación de las tuberías, se debe instalar el cabezal de riego, que está compuesto principalmente por la bomba (debe ir acompañada de un tablero eléctrico que debe incluir a lo menos el automático y el amperímetro), sistema inyector de fertilizantes, filtros (de arena y malla según necesidad), manómetros (uno antes y otro después del filtro de arena y otro después del filtro de malla) y válvulas reguladoras de caudal. En el caso de los sistemas automatizados, cuenta además de un programador, que controla los tiempos de riego de cada uno de los sectores de riego, por lo tanto, en el tablero se necesita además un contactor de 220v a 24v.

4. MANEJO Y CONTROL DEL RIEGO

4.1. Programa de Riego

Tradicionalmente, el riego localizado ha sido manejado bajo el concepto del riego diario, lo cual, en general ha dado buenos resultados. Sin embargo, últimamente se ha observado que esta situación no es generalizada para todas las condiciones existentes, especialmente en los suelos de texturas medias a finas (franco a arcilloso). Esto se puede atribuir al hecho de que en estos tipos de suelo, los riegos frecuentes y cortos producen un mojamiento de bulbos pequeños con condiciones de saturación prolongada del suelo, lo que afecta negativamente al desarrollo de las raíces

Esta situación ha llevado a que el riego diario sea reemplazado por un manejo que contemple riegos más largos y distanciados, lo que formaría bulbos de mojamiento más amplios y profundos con condiciones de humedad y aireación adecuadas. Este intervalo estaría definido por la demanda evaporativa del cultivo y por las condiciones de retención de humedad del suelo.

En relación con el efecto de la demanda evaporativa del cultivo sobre la frecuencia de riego, mientras más avance la temporada hacia los meses de mayor temperatura y mientras más se desarrolle la planta, la frecuencia de riego va a ir disminuyendo, es decir que los riegos deben ser más seguidos. En tanto, en relación con las condiciones de retención de humedad del suelo, mientras más arcilloso sea el suelo, la frecuencia de riego debe ir aumentando. En la Figura 18, se presenta como va aumentando de tamaño del bulbo húmedo al aumentar el tiempo de riego, en dos suelos distintos con goteros de distinto caudal.

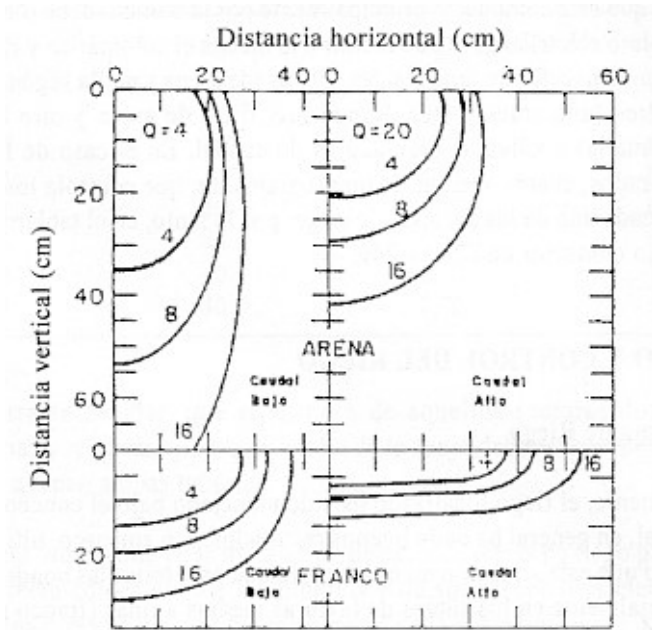


Figura 18. Bulbo húmedo según caudal del emisor y tiempo de riego para dos suelos

Este método de manejo del riego localizado, permite darle a las raíces una mejor condición de humedad y aireación durante todo su período activo. Considerando que cada explotación agropecuaria corresponde a una situación diferente, no se pueden dar recetas generales, ya que incurren a graves errores. Sin embargo, si se pueden plantear estrategias de manejo que pueden ser utilizadas en diversas situaciones.

Como recomendación general, se podría señalar que para definir un programa de manejo de riego habría que seguir adelante la siguiente metodología:

- a. Definir la profundidad a la que se concentra el mayor porcentaje de raíces del cultivo. En el Cuadro 23, se presenta la profundidad de arraigamiento efectivo para distintas especies frutales y hortalizas

Cuadro 23. Profundidad de arraigamiento efectivo

Especies	Profundidad (m)
Cítricos	0,15-1,00
Frambuesas	0,15-0,30
Frutales de carozo	0,20-1,20
Hortalizas de hoja	0,15-0,30
Kiwis	0,20-1,00
Nogales	0,50-1,80
Pimentones	0,15-0,30
Pomáceas	0,20-1,50
Vides	0,20-1,50

- b. Hacer pruebas de campo en el suelo más representativo del sector de riego, para definir el tiempo que demora ese suelo en quedar cercano a saturación a la profundidad de mayor concentración de raíces. Estas pruebas de campo deben realizarse en condiciones de

suelo húmedo, por lo tanto, se aconseja que antes de realizarla se de un riego largo y profundo. Para identificar el momento en que se alcanzó la profundidad deseada, se debe instalar un tensiómetro a dicha profundidad, el cual, debe registrar valores entre 5 y 10 centibares para cortar el riego. Con esta prueba, se ha definido el Tiempo de Riego que se debe aplicar en cada oportunidad.

- c. La Frecuencia de Riego va a estar definida por la demanda evaporativa del cultivo, la que se debe estimar periódicamente a partir de un registro diario de la evaporación de bandeja del área.

En el Cuadro 24, se presenta un ejemplo de la ficha de riego que se debe llevar para el caso del ejemplo planteado anteriormente del huerto de manzanos.

Cuadro 24. Ficha de riego

Profundidad de mayor concentración de raíces 150 cm
Tiempo de riego necesario (según prueba de campo) 15 horas

Día	Eb (mm)	TR (hrs)	TR acum. (hrs)
1	6	4,7	4,7
2	6	4,7	9,4
3	6	4,7	14,1
4	6	4,7	4,7*
5	6	4,7	9,4
6	6,5	5,1	14,5
7	6,5	5,1	5,1*
8	6,5	5,1	10,2
9	6,5	5,1	15,3
10	6,5	5,1	5,1*

*Riego de 15 horas en la mañana.

Como herramienta de control de esta metodología, es fundamental el uso de tensiómetros, para ir ajustando las frecuencias de riego. Esto, debido a que se deben ajustar los coeficientes de bandeja y de cultivo que normalmente se utilizan. Con lecturas entre los 20 y 25 centibares a la profundidad de mayor concentración de raíces, indica que se debe regar.

Instalación del tensiómetro

Primero se saca el envoltorio de la cápsula de cerámica y luego se coloca el tensiómetro en un recipiente plástico con agua limpia. Posteriormente se llena el tubo rígido con agua destilada y se deja destapado, mientras el agua drene a través de la cápsula porosa. Esta operación se repite varias veces antes de trasladar el tensiómetro hasta el terreno. Durante el traslado la cápsula se protege con un plástico. No se debe tocar la cápsula con la mano.

El lugar donde se va a poner debe cumplir los siguientes requisitos:

- Ser representativo del área que se va a regar.
- Estar en la zona radicular activa.
- A no menos de 30 y no más de 45 cm, de la línea de riego en frutales.

- d. Protegido de posibles daños por las labores agrícolas.
- e. En el caso de frutales, instalarlo a un tercio de la distancia desde la proyección de la copa del árbol al tronco sobre la hilera de plantación.
- f. En hortalizas colocarlo sobre la hilera de plantación.

Elegido el lugar, se hace una perforación en el terreno con un barreno o un tubo de 1/2 pulgada hasta la profundidad donde esté la mayor cantidad de raíces. Luego se inserta el tensiómetro en la perforación, observando que el marcador quede entre 5 a 7 cm por sobre el terreno y cuidando que la cápsula porosa quede en íntimo contacto con el suelo, de tal forma que el agua puede entrar y salir libremente.

A medida que se rellena con tierra debe ir compactándose cuidadosamente con un palo de diámetro reducido para que no quede aire.

Una vez que el tensiómetro ha sido ubicado en el terreno, se llena con agua destilada hasta unos 2 cm bajo la tapa, provocando un vacío con la palma de la mano para eliminar el aire retenido. Luego, para eliminar completamente el aire que haya quedado, con la bomba de vacío se lleva, por algunos segundos a un valor de entre 80 a 85 centibares que se leen en el vacuómetro. Repetir este procedimiento si es necesario.

Por último, se atornilla la tapa hasta que la goma tope fondo, debiéndose esperar un cierto número de horas para obtener las primeras lecturas. El nivel de agua destilada en el tubo, se revisa cada vez que se tomen las lecturas y se rellenan cuando sea necesario.

4.2 Control de Operación del Equipo de Riego

Dentro del manejo del equipo de riego, es importante tener indicadores de los problemas que pueden estar ocurriendo en alguna parte del sistema. Los manómetros y el amperímetro son los indicadores mínimos necesarios, por lo tanto, se debe llevar un control riguroso de ellos. En el Cuadro 25, se presenta una descripción de problemas en el equipo de riego según lectura en amperímetro y manómetro.

Cuadro 25. Descripción de problemas en el equipo de riego

Amperímetro	Manómetros Filtro de arena		Manómetro Filtro de malla	Descripción del problema
	Entrada	Salida	Salida	
Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Rotura en la red de riego y/o más de un sector abierto.
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua.
Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Filtro de arena sucio.
Bajo	Alto	Alto	Alto	Válvula en la red cerrada (red obstruida).
Bajo	Alto	Alto	Bajo	Filtro de malla sucio.

En el caso que el motor de la bomba se detenga por una sobrecarga, deben conocerse las causas, antes que el equipo de riego se utilice nuevamente.

5. MANTENCIÓN DEL EQUIPO DE RIEGO

La red de riego puede sufrir obstrucciones por la presencia de microorganismos, material sólido en suspensión o sales precipitadas, generando serios problemas de funcionamiento. Para evitar este problema se debe realizar periódicamente un lavado mecánico del sistema abriendo las válvulas de lavado ubicadas al final de cada submatriz y dejando correr el agua por uno o dos minutos mientras se esté regando. Pero para evitar las obstrucciones biológicas y químicas es necesario un lavado químico, operación que debe ser realizada por personal responsable y con conocimiento del equipo de riego.

Control preventivo de algas con Cloro

El cloro es un compuesto económico y ampliamente utilizado en forma de hipoclorito de sodio al 10 o al 12%. Posee un efectivo control sobre algas y otros microorganismos. Al mezclarse con el agua, el cloro adquiere un fuerte poder oxidante, aunque sólo una fracción permanece en estado libre con acción biocida. Requiere un pH entre 5 y 7,5 para lograr un control adecuado, pero el óptimo funcionamiento se obtiene con pH entre 5,5 a 6.

La limpieza del sistema consiste en mantener una concentración de cloro libre entre 0,5 y 1 ppm. en el agua que sale desde el emisor más lejano, durante 45 minutos aproximadamente. Si el tiempo es inferior a 45 minutos no hay seguridad del efecto bactericida. Si la concentración de cloro libre es menor, el efecto puede ser incluso contraproducente, ya que bajas concentraciones de cloro pueden estimular el rápido crecimiento de bacterias. Para conseguir esta condición pueden ser necesarias dosis de entre 3 y 10 ppm de cloro total. Cuando el pH es superior a 7,5 las necesidades de cloro libre al final de los emisores debe ser del orden de 2 a 3 ppm.

Los tratamientos se pueden repetir cada 6 horas. El cloro se puede aplicar en cualquier momento del riego, pero es conveniente que durante la última hora no salga cloro por los emisores. La inyección debe hacerse antes de los filtros para evitar crecimientos bacterianos en las arenas.

Cálculo de la cantidad de cloro: Por ejemplo para obtener una concentración de 10 ppm (10 g/m³) y sabiendo que la concentración del hipoclorito de sodio es de 10% se requieren 0,1 litro de hipoclorito por m³ de agua. Si se requiere tratar 20 m³ de agua se necesitan 2 litros de hipoclorito de sodio disuelto en 100 litros de agua y se inyectan a la de en el tiempo requerido. La dilución en el tanque fertilizante no tiene importancia. Los metros cúbicos a tratar se obtienen multiplicando al caudal de un emisor por el número de emisores del sector de riego y por el tiempo de aplicación del biocida, que debe ser de a lo menos 45 minutos. En general se requiere entre 1 a 1,5 litros de hipoclorito 10% por hectárea en goteo; 6 a 7 litros en riego por cinta espaciado a 1,5 metros.

Lavado de precipitados de Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio es una sal de muy baja solubilidad (0,031 g/l), aunque a pH cercano a 6 puede aumentar hasta 100 veces.

El tratamiento preventivo clásico es la acidificación y los compuestos más utilizados son ácido fosfórico (H_3PO_4) 45N y ácido sulfúrico (H_2SO_4) 36N. Esta práctica es fundamental para evitar taponamientos que afecten la uniformidad del riego.

Cuando las sales ya se han depositado en la red de hasta conseguir concentraciones del ácido en el agua de 1 - 2% para lo cual, se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- Colocar en el tanque inyector de fertilizantes, una solución de ácido al 10% (primero el agua en el tanque y luego el ácido concentrado).
- Se comienza a aplicar la mezcla a muy baja presión, funcionando los emisores con el gasto mínimo.
- La dosis se debe ajustar midiendo con papel pH el nivel de acidez del agua en los goteros más extremos, hasta que llegue a valores entre 2 y 3 .
- Alcanzado este nivel de acidez, se cierra el sistema por 12 horas.
- Posteriormente, se aplica agua pura a presión, lavando el sistema (Flushing).

Como referencia el nivel de acidez señalado se logra con aproximadamente 6 L/ha.

Lavado de otros precipitados

Los precipitados de hierro, manganeso y azufre también pueden obturar los emisores. El tratamiento preventivo consiste en provocar la oxidación y precipitación antes de los filtros de arena, para retener ahí las partículas.

Un método eficaz de evitar estos precipitados es la aplicación continua de oxidantes como hipoclorito de sodio. Si el pH del agua es inferior a 6,5 el cloro puede evitar estos precipitados de hierro, cuando la concentración de este es inferior a 3,5 ppm. Si el pH es superior a 6,5, los precipitados se evitan con concentraciones de hasta 1,5 ppm. La aplicación de ácidos puede ser necesaria para mejorar el pH. La concentración adecuada de hipoclorito de sodio se calcula a razón de 1 ppm de hipoclorito de sodio por 0,7 ppm de hierro. La reacción es muy rápida.

En presencia de manganeso hay que tener cuidado con la aplicación de hipoclorito, ya que la oxidación de este elemento es mucho más lenta que la de hierro y los precipitados pueden formarse después de superado el filtro de arena. Cuando los emisores están parcialmente obturados, se puede aplicar ácido en la forma descrita para las obturaciones con carbonato de calcio.

Control de algas en fuentes de agua.

Para el control de algas en pozos y reservas de agua se recomienda utilizar sulfato de cobre en dosis de 0,05 a 2 ppm (0,05 a 2 g/m³). No se debe utilizar material de aluminio para su preparación porque se forman compuestos tóxicos para los peces.

5.1 Secuencias de Labores de Mantenimiento y Limpieza

A continuación se presenta una tabla que indica las labores que deben realizarse al inicio, durante y término de la temporada de uso de equipos de riego localizado, para mantenerlos en buenas condiciones de operación y vida útil.

Cuadro 26. Secuencias de labores de mantención y limpieza de equipos de riego localizado

Equipos	Término	Inicio	Durante
Filtros	Drenar el agua del equipo de filtración después del lavado. Inspeccionar los filtros internamente por cualquier deterioro. Desconectar de la fuente de energía. Revisar cables eléctricos	Revisar conexiones eléctricas. Revisar controles automáticos. Revisar limpieza interior. Revisar el retrolavado	Observar que la filtración sea buena y que los controles automáticos estén funcionando. En los filtros de arena, cuando la diferencia de presión entre los manómetros de entrada y salida del agua sea igual o mayor a 5 m.c.a., se efectuará automáticamente el retrolavado o se deberá efectuar manualmente accionando la válvula de tres vías. En los filtros de malla, se deberá efectuar un lavado de la malla cuando el manómetro indique una caída de presión igual o mayor a 3 m.c.a. Este lavado se efectúa destapando el filtro y sacando la malla para limpiarla. Terminar el riego diario con una limpieza de los filtros de arena y malla, de tal forma que éstos queden limpios.
Bombas	Sacar la bomba y revisar rodamientos y sellos desgastados Revisar la curva de funcionamiento y consumo de energía en un servicio técnico especializado.	Revisar conexión eléctrica. Revisar funcionamiento general.	Revisar funcionamiento, ruidos vibraciones y otros.
Válvulas	Vaciar todas las válvulas Revisar válvulas. Dejar todas las válvulas abiertas.	Inspeccionar válvulas automáticas. Verificar funcionamiento de las válvulas.	Verificar operación de las válvulas. Lubricar según recomendación del fabricante.
Tablero eléctrico y programador	Limpiar tablero. Desconectar de la fuente de energía.	Revisar conexiones. Verificar funcionamiento en general (amperímetro, voltímetro y otros).	Cada semana, revisar visualmente todos los componentes externos.
Tuberías	Cuando el sistema de riego aún esté funcionando, marcar roturas en la red de riego. Drenar matrices, submatrices y laterales. Abrir todas las válvulas. Inspeccionar tubería en general.	Revisar operación del sistema.	Limpiar tuberías, hacer correr el agua por ellas todas las veces que sea necesario. Abrir grupos de cinco laterales hasta que el agua salga limpia. En caso de persistir algún problema, llamar al servicio técnico especializado.
Emisores	Aprovechar de cambiar emisores rotos o con algún problema (que se dejaron marcados cuando el sistema estaba funcionando).	Revisar visualmente obstrucciones, daños u otros signos de deterioro.	Revisar mensualmente la descarga y presión de operación. Revisar obstrucción y daños por lo menos una vez en la temporada. Dejar marcados los emisores rotos para cambiarlos al final de la temporada.
Inyecciones de fertilizantes	Lavar bien y verificar el equipo. Revisar válvulas. Revisar visualmente conexiones eléctricas. Prevenir cualquier corrosión.	Revisar cualquier obstrucción. Revisar funcionamiento general. Revisar dosificación.	Lavar y vaciar el estanque después de cada uso.