



MÁS Y MEJOR  
RIEGO PARA CHILE

yo  
cuido  
el agua

# DISEÑO Y MANTENCIÓN DE RIEGO POR GOTEO



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

CUADERNILLO TÉCNICO  
**DISEÑO Y MANTENCIÓN DE RIEGO POR GOTEO**  
Año 2019

**EQUIPO TÉCNICO:**

EVERIS Chile S.A.

**SUPERVISIÓN Y REVISIÓN:**

Marianela Matta Lagos  
Supervisora Técnica CNR

**DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:**

Angélica Cavieres R.  
Diseño gráfico y producción  
e Ilustraciones complementarias

**IMPRESIÓN:**

[www.altergrafica.cl](http://www.altergrafica.cl)

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
Descripción de la Unidad Demostrativa de Riego por Goteo	6
Descripción del Proyecto Instalado	6
<b>1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO</b>	<b>8</b>
<b>2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO</b>	<b>9</b>
2.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	10
2.2. CABEZAL DE RIEGO	10
2.3. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN	11
2.4. CABEZAL DE CAMPO	13
2.5. EMISORES	14
Según su diseño y terminaciones	14
Según la configuración de los conductos de paso del agua	15
<b>3. DISEÑO AGRONÓMICO</b>	<b>18</b>
3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET <sub>o</sub> )	20
3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (ET <sub>c</sub> )	21
3.3. COEFICIENTE DE CULTIVO (K <sub>c</sub> )	22
3.4. ANTECEDENTES BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA UNIDAD DEMOSTRATIVA	23
3.5. CÁLCULOS PARA DETERMINAR EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO	23
3.6. DEMANDAS HÍDRICAS NETAS Y BRUTAS DE UN CULTIVO	24
3.7. UBICACIÓN Y NÚMERO DE EMISORES	27
3.8. TIEMPO DE RIEGO (TR) Y SECTORES DE RIEGO (SR)	29
<b>4. DISEÑO HIDRÁULICO</b>	<b>31</b>
4.1. PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS	33
Determinación de las pérdidas de carga en tuberías	34
Factor de salidas múltiples	36
4.2. DISEÑO HIDRÁULICO SEGÚN SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	37
4.3. SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO	44
<b>5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS DE RIEGO</b>	<b>51</b>
5.1. CAUDALÍMETROS	51
5.2. DISPOSITIVO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES	51
5.3. ESTANQUES UTILIZADOS EN LA UNIDAD DEMOSTRATIVA	53
5.4. FITTINGS DE CONEXIÓN (VÁLVULAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS)	54
Unión para tubería de PVC	54
Uniones para tubería de PE	56
Piezas especiales	57
<b>6. PLANO DE TECNIFICACIÓN</b>	<b>59</b>
<b>7. PRESUPUESTO</b>	<b>60</b>

<b>8. ASPECTOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>62</b>
8.1. UNIFORMIDAD DE CAUDALES	62
8.2. NÚMERO DE DIFERENTES DIÁMETROS QUE COMPONEN LA TERCIARIA	63
8.3. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)	64
Medición de caudales en emisores	66
Uniformidad de presiones	67
8.4. TIPO Y LAVADO DE FILTROS	68
Filtros de arena o grava	69
Instalación y limpieza	70
Filtro de malla	71
Filtros de anilla	73
8.5. MANTENCIÓN DE LA RED DE RIEGO	75
Tratamientos con ácido	78
Frecuencia de lavado	82
Cuidados	83
Limpieza de tuberías laterales, secundarias y matriz	84
Observación del tipo de impurezas	85
Precipitados originados por la reacción de compuestos disueltos en el agua.	85
Frecuencia de lavado del sistema	86
Duración del lavado	87
Orden en el lavado de laterales y matrices	88
Otros componentes	90

## INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Riego, ha definido dentro de sus productos estratégicos “desarrollar estudios, programas y proyectos, que incentiven la gestión y uso eficiente de los recursos hídricos para riego, fortaleciendo la gestión de las organizaciones de usuarios de agua y de los agricultores del país”.

En esta línea, el año 2017 se comenzó a ejecutar el programa “Transferencia Tecnológica para mejorar eficiencia de riego en la Cuenca del Río Cato”, en respuesta a una demanda de asesoría técnica dirigida a mejorar el desarrollo del riego tecnificado de los agricultores de la cuenca.

En el marco de esta iniciativa, se consideró fundamental la asistencia técnica, el apoyo en la presentación de proyectos a la ley de riego, y las capacitaciones, las que fueron reforzadas con trabajos prácticos, que fueron posibles de realizar gracias a la instalación de una unidad demostrativa de riego, establecida en el Liceo Agrícola de Cato. Esta unidad fue fundamental para promover el uso de tecnologías de riego; a su vez, permitir a los agricultores la capacitación en estas temáticas en un ambiente controlado y con las tecnologías apropiadas y a libre disposición. Así también, su localización dentro del Liceo Agrícola de Cato, permitirá su uso en el tiempo, siendo una fuente de conocimiento práctico indispensable para los alumnos y agricultores de la zona.

El objetivo de este documento busca entregar los conocimientos básicos para la instalación de un sistema de riego por goteo, teniendo como base, el trabajo realizado en la unidad demostrativa.

## **DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DEMOSTRATIVA DE RIEGO POR GOTEO**

Se instaló una unidad demostrativa con sistema de riego por goteo debido a las características y ventajas comparativas que este sistema de riego ofrece.

Una de las características de mayor relevancia del riego por goteo es su alta eficiencia de aplicación que es del orden de un 90%. Es decir de cada 100 litros aplicados al suelo, quedan disponibles para la planta 90 litros, agua que se entrega a través de los goteros con caudales bajos, entre 0,6 y 4 l/hora y con presiones de operación también bajas, en rangos de 0,7 a 1,2 bar. Esta condición de funcionamiento se traduce en que el agua se deposita de manera paulatina en la zona en la zona radicular y que estratégicamente una vez consumida por las plantas se repone con una frecuencia de riego diaria. Ventajas adicionales que presenta este método, son la posibilidad de realizar la aplicación de fertilizantes, a través, de la red de distribución de tuberías tuberías o fertirrigación; disminuir la presencia de malezas al concentrar la humedad en un área bajo el gotero; reducir la incidencia de plagas y enfermedades especialmente hongos al reducir el nivel de humedad en el entorno de la planta; y su versatilidad para realizar programación de riego.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO INSTALADO**

Concentraremos nuestro esfuerzo en este documento en la tecnificación por goteo, para ello desarrollaremos la metodología de diseño de un proyecto de riego tecnificado en base a la propuesta de Unidad Demostrativa en el Marco del Programa “Transferencia de tecnología en el mejoramiento de la eficiencia de riego en la cuenca del Río Cato”, Región de Ñuble. Esta Unidad corresponde a un sistema de riego tecnificado integrado con energía solar fotovoltaica del tipo mixto (Solar/220 Vac) y que está compuesto por un cabezal de riego, con un equipo de impulsión centrífugo eléctrico, sistema de filtración con filtro de anillas, fertirriego mediante bomba centrífuga inyectora. El sistema cuenta con una red de distribución de tuberías de PVC, y laterales de riego tipo cinta, en cultivo de hortalizas al aire libre y bajo invernadero, y un sector con microaspersión como vivero de frutales bajo invernadero. En cuanto al sistema fotovoltaico, consta de 4 paneles fotovoltaicos con inversor monofásico con variador de frecuencia integrado que permite energizar el equipo de impulsión con

con energía solar directa o con energía de la red de distribución en 220 VAC de energía eléctrica monofásica.

La unidad demostrativa instalada corresponde a un sistema de riego tecnificado por goteo, integrado con energía solar fotovoltaica del tipo mixto (Solar/220 VAC) compuesto por:

- 1. Cultivo y superficie: El proyecto se ajustó a la demanda actual de la Escuela agrícola, con un sector de hortalizas de rotación corta 240 m<sup>2</sup>, un segundo sector invernadero de hortalizas y almácigos 300 m<sup>2</sup>, un tercero, cuarto y quinto sector con avellano europeo, de 528 m<sup>2</sup> cada uno.**
- 2. Cabezal de riego, incluye un equipo de impulsión centrífugo eléctrico, sistema de filtración con filtro de anillas, fertirriego mediante bomba centrífuga inyectora.**
- 3. Red de distribución de tuberías de PVC, y laterales de riego tipo cinta.**
- 4. Sectores de riego, 5 sectores de riego descritos en el punto 1.**
- 5. Sistema fotovoltaico, que consta de 4 paneles fotovoltaicos con inversor monofásico con variador de frecuencia integrado que permite energizar el equipo de impulsión con energía solar directa o con energía de la red de distribución en 220 VAC de energía eléctrica monofásica.**

## 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO

### Ventajas:

- Uso más eficiente del recurso hídrico al llegar con el agua directamente a la raíz de las plantas.
- Evita pérdidas por evaporación.
- Permite aplicación de fertilizantes disueltos en el agua.
- Ahorro en costos de mano de obra al programar los riegos automáticamente.
- Menor presencia de malezas en el huerto porque solo se humedece el sector cercano a la planta.
- Frecuencia de riego diaria en base a la demanda del cultivo.

### Desventajas:

- Mayor costo inicial de instalación.
- Requiere que el personal encargado tenga un grado de capacitación.
- Requiere alguna fuente de energía, de red pública, o fotovoltaica, como en este ejemplo.
- Requiere agua con flujo permanente y continuo (pozo profundo, pozo noria o estanque que acumule el agua de canal).
- Requiere agua con pocas impurezas, o desarenador en caso de agua de canal.

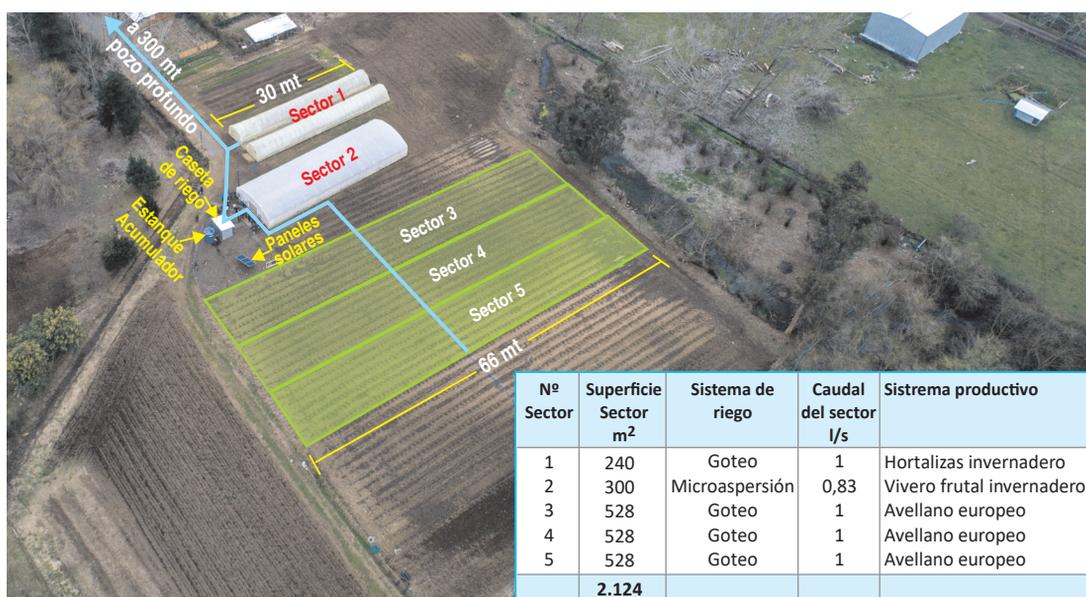


Figura 1. Superficie predial unidad demostrativa 0,21 hectáreas

## 2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

El sistema de riego por goteo se divide en tres grandes componentes: primero, el cabezal de riego, donde se incluye la fuente de impulsión, que en la mayoría de los casos es una bomba centrífuga, el sistema de inyección de fertilizantes, el sistema de filtración y válvulas y dispositivos de control y de caudal y presión como válvulas, manómetros y caudalímetros. El segundo componente del sistema es la red de distribución de tuberías, que es la encargada de conducir el agua a los distintos sectores de sistema hasta llegar al gotero; y finalmente el tercer componente son los goteros, encargados de entregar y depositar el agua en el suelo la zona de raíces de la planta. En el caso particular de la unidad demostrativa establecida en Cato y utilizada en este ejemplo, se diseñó un sistema en una superficie de 0,2 hectáreas, dividido en 3 sectores con riego por goteo para el cultivo de hortalizas al aire libre de 528 m<sup>2</sup> cada uno, 2 sectores bajo plástico, uno con riego por goteo de 240 m<sup>2</sup> con hortalizas y otro de 300 m<sup>2</sup>, como vivero de frutales con riego por microaspersión.

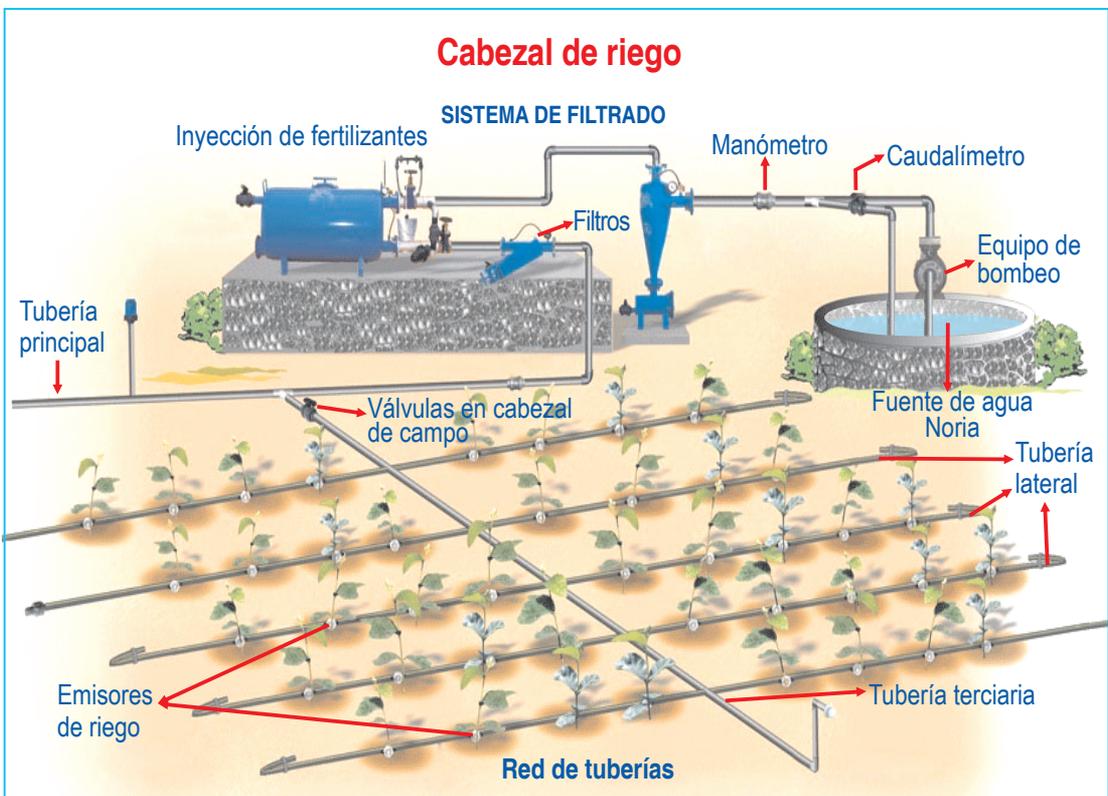


Figura 2. Componentes generales unidad demostrativa 0,2 hectáreas

## 2.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Para el abastecimiento de agua con fines de riego, es posible hacer uso de aguas superficiales o subterráneas, la selección de una de ellas - o ambas - dependerá de aspectos como: calidad, disponibilidad, seguridad de abastecimiento, o costo de obras asociadas para su extracción y operación.

## 2.2. CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego corresponde al centro de control en un sistema de riego tecnificado. En éste se encuentra el equipo de impulsión que es el encargado de otorgar niveles de presión al flujo de agua, y mantener un dotación constante y permanente de agua durante el riego. En este lugar, además, coexisten los sistemas de inyección de fertilizantes y de filtración (Figura 3).

Es en el cabezal de riego donde se pueden realizar de una manera efectiva el monitoreo y control de la operación del sistema de riego en su conjunto, de modo de asegurar su buen funcionamiento y mayor vida útil.

El agua es impulsada desde el cabezal de riego, conducida a través de una red de tuberías de PVC y Polietileno hasta el emisor, que puede ser un gotero o microaspersor, que finalmente le entrega el agua a cada planta.



Figura 3. Componentes de un cabezal de riego tecnificado

## 2.3. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN

La red de tuberías o el sistema de distribución, es responsable de la conducción del agua desde la fuente hasta el punto de emisión de agua hacia la planta. Conocer los distintos materiales, características y propiedades de las tuberías y piezas especiales que componen el sistema de distribución, permite incorporar criterios técnicos en el proceso de monitoreo y control de los equipos de riego.

En una red de tuberías, la secuencia de la conducción desde la fuente del agua hasta el emisor se da por:

- Tubería principal o matriz
- Tubería secundaria
- Tubería terciaria o portlaterales
- Laterales de riego (Punto donde se insertan los emisores)

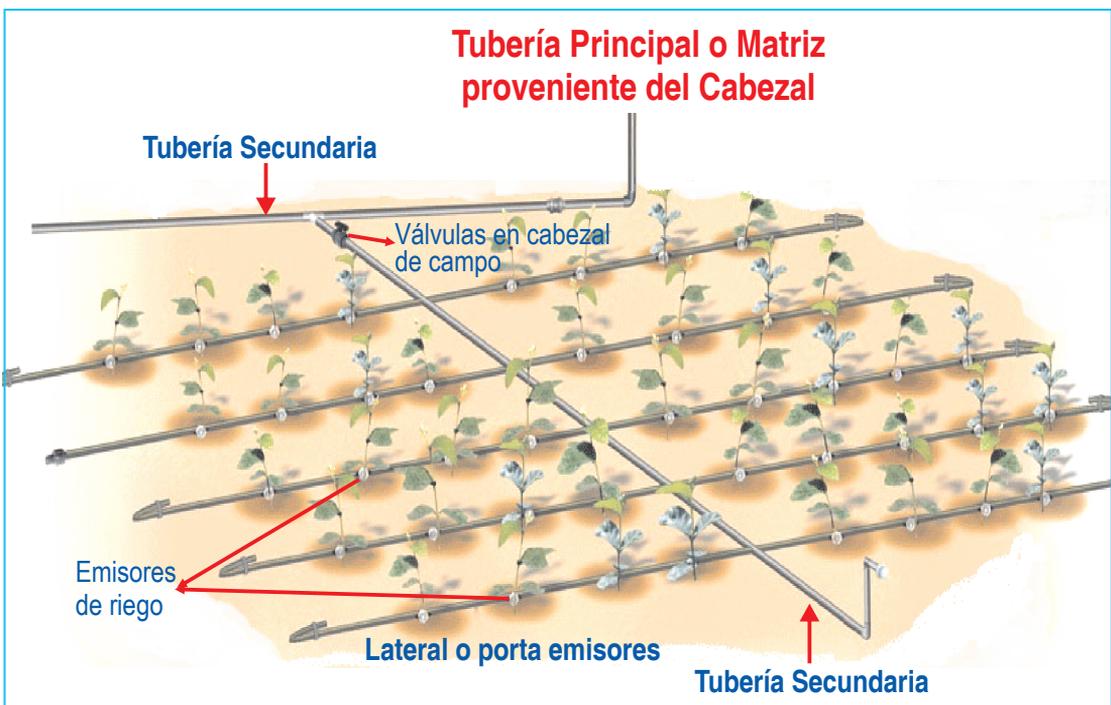


Figura 4. Componentes de una red de tuberías

Las tuberías para sistemas de riego por goteo que existen, están diseñadas principalmente de Policloruro de Vinilo (PVC) y Polietileno (PE), son de baja rugosidad interna, pueden ser rígidos o flexibles, siendo ambos fácilmente manejables por su bajo peso.



Figura 5. Tuberías de PVC y PE

De acuerdo a lo especificado en la norma chilena NCh 399 para tuberías de PVC, la Tabla 1 muestra presiones de trabajo según la clase de tubería que se requiera utilizar.

Tabla 1. Presiones de trabajo según norma chilena en tuberías de PVC.

Clase	Presión nominal de trabajo a 20° C		
	k/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	m.c.a.
6	6	90	60
10	10	150	100
12	12	180	120
16	16	240	160

El diámetro nominal en una tubería corresponde al diámetro exterior técnico en milímetros declarado por el fabricante, a partir del cual, se establecen las tolerancias y sirve de referencia para designar y clasificar - por medidas - los diversos elementos de una conducción acoplables entre sí. La Tabla 2, presenta las series comerciales de diámetros nominales existentes en el mercado y sus presiones nominales.

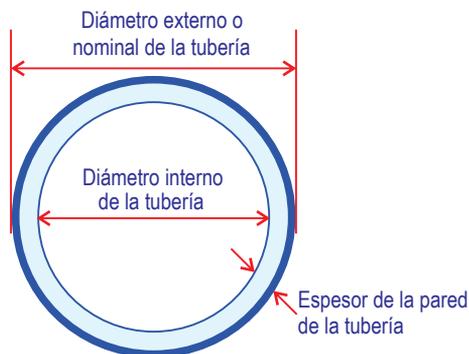


Figura 6. Dimensiones de la tubería

**Tabla 2. Presión nominal (Pn) y espesor (e), según diámetro nominal ( $\varnothing$ ) en tuberías de PVC.**

$\varnothing$ (mm)	Pn 6	Pn 10
	e (mm)	e (mm)
25	-	1,5
32	-	1,8
40	1,8	2,0
50	1,8	2,4
63	1,9	3,0
75	2,2	3,6
90	2,7	4,3
110	3,2	5,3
125	3,7	6,0
140	4,1	6,7
160	4,7	7,7
200	5,9	9,6
250	7,3	12,0
315	9,2	15,0
355	10,4	17,0
400	11,7	19,1

Fuente: Manual tubería presión Vinilit 2016

## 2.4. CABEZAL DE CAMPO

Es el punto donde el agua se deriva a un sector de riego, y se regula el paso de agua a éste, mediante una válvula.



Figura 7. Cabezal de campo

En este punto de la red de riego, la presión de entrada -que corresponde a la presión que recibe el primer emisor- debe ser, como máximo, un 10% superior con respecto a la presión con que llega el agua al último emisor del sector. Si esa condición se cumple, el diferencial de caudal de goteo entre el último y primer emisor no será más allá de un 5%, con lo que se asegura una alta uniformidad de riego.

## 2.5. EMISORES

Los emisores en el riego localizado, son dispositivos que controlan la salida del agua desde las tuberías laterales, y se caracterizan por reducir la presión del agua. Los goteros, corresponden al tipo de emisor más antiguo dentro de los sistemas de riego localizado, siendo por ende el más difundido. La configuración de los goteros es muy variable, pero con fines de simplificación se pueden agrupar de la siguiente manera:

### Según su diseño y terminaciones:

- **Goteros sellados con dos o más piezas:** acopladas en fábrica que no pueden separarse. Cuando se obturan necesariamente deben reemplazarse. Utilizados en sistemas que se abastecen con aguas limpias, pozo profundo por ejemplo, y en superficies pequeñas de no más allá de 2 hectáreas por el alto costo de instalación asociado a la mano de obra.



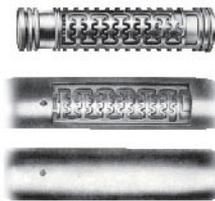
- **Goteros desmontables de dos o más piezas:** que pueden separarse para proceder a su limpieza manual. Utilizados en superficies pequeñas de no más allá de 2 hectáreas, por el alto costo de instalación asociado a la mano de obra y con fuentes de agua limpias o parcialmente limpias.



- **Goteros interlínea de una sola pieza:** que van en la tubería utilizando parte de ésta como pieza exterior. De muy poco uso en la actualidad, opción de uso en viveros o áreas verdes.



- **Goteros integrados:** se ubican en el interior de las tuberías durante el proceso de fabricación, sin que exista ningún tipo de acople. Este tipo de goteros se diseña para reducir costos en los cultivos que requieren una gran cantidad de emisores. Utilizados en superficies superiores a 0,5 hectáreas con aguas limpias.



### Según la configuración de los conductos de paso del agua:

- **Goteros de largo conducto:** en este tipo de goteros la pérdida de carga tiene lugar en un conducto (de hasta 2 m de longitud) y de pequeño diámetro (0,5 a 2 mm). Uso en superficies pequeñas.



A este grupo pertenecen los microtubos con diámetros interiores de 0,6 mm hasta 2 mm, con los cuales se puede implementar instalaciones sencillas y de bajo costo, pudiéndose alcanzar buenas uniformidades de aplicación.

- **Goteros de laberinto:** pertenecen a este grupo una serie de goteros, con largos conductos tortuosos o laberinto, gracias a los cuales se aumenta la turbulencia del flujo, consiguiéndose una menor sensibilidad a las obturaciones (secciones de paso de 1 a 2 mm) y a los cambios de temperatura. Pueden instalarse en

interlínea o sobre la línea. Utilizados con fuentes de aguas subterráneas limpias, con un buen sistema de filtración.

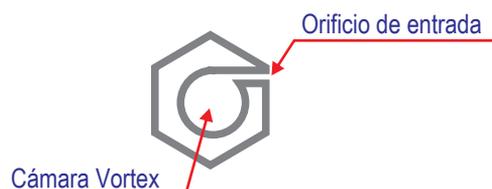


- **Goteros de orificio:** en ellos el agua sale al exterior a través de uno o varios orificios de pequeño diámetro, en donde tiene lugar la mayor pérdida de carga. El régimen de flujo es completamente turbulento, son emisores muy sensibles a las obturaciones. Utilizados con fuentes de agua subterránea más limpias, con un buen sistema de filtración.



- **Goteros de tipo Vortex:** este tipo de emisor tienen una cámara circular en donde se produce un flujo vertical. El movimiento se consigue al entrar el agua tangencialmente a la pared circular de la cámara. El rápido movimiento de rotación consigue que el eje del vortex obtenido esté en el eje de la cámara.

Como consecuencia de lo anterior la pérdida de carga que se produce es superior a la del emisor de orificio de igual diámetro. A nivel comercial, existen con orificio de salida menor a 0,6 mm por lo que la sensibilidad a las obturaciones es mayor. Utilizados con fuentes de agua subterránea más limpias, con un buen sistema de filtración.



- Goteros autocompensados:** se trata de goteros con flujo turbulento o transitorio en los que se intenta obtener un caudal constante, independiente de la presión de operación. La durabilidad de estos goteros, y sobre todo, de su membrana flexible puede verse afectada, por el tiempo y la temperatura, especialmente cuando se utilizan con aguas ricas en bicarbonatos. La sensibilidad a las obturaciones puede llegar a ser grande, ya que cuando la presión aumenta, disminuye la sección de paso, pudiendo llegar a valores inferiores a 0,5 mm. Muy utilizados en sistemas de riego ubicados en suelos con pendientes sobre 2 %, y en sistemas cuyos sectores de riego posean distintos requerimientos de caudal. Requieren aguas limpias, de canal con decantador y un eficiente sistema de filtración; con aguas subterráneas, también con un buen sistema de filtrado. Opera en forma óptima en rangos de presión de 0,35 a 3,5 bar.



- Cinta de riego:** 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. Su uso es recomendado para sistemas productivos hortícolas, con aguas limpias y buen sistema de filtrado, con presiones de operación que no superen 1 bar.



### 3. DISEÑO AGRONÓMICO

El agua en el suelo, una vez aplicada con el riego, sufre una serie de transformaciones y transferencias. Existe absorción por parte de las raíces, translocación y transpiración por las plantas, evaporación directa desde el suelo, percolación profunda y escurrimiento superficial. En la figura 8 se presenta un esquema conceptual del proceso de balance de agua y sus interacciones en el sistema suelo - planta - atmósfera.

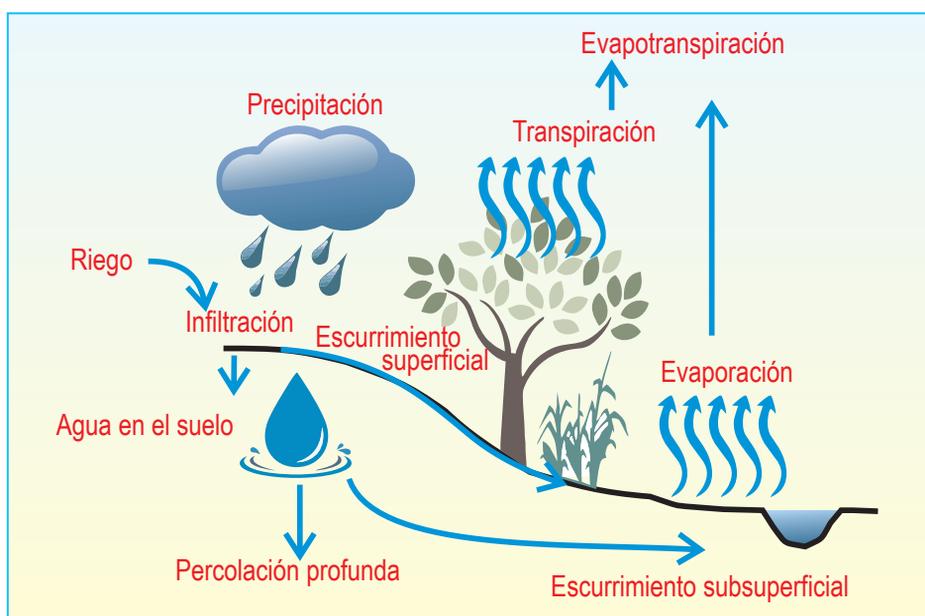


Figura 8. Balance de agua en el sistema suelo- planta- atmósfera

Una descripción breve, pero integradora del sistema suelo - planta - atmósfera, puede iniciarse desde el suelo. La planta absorbe agua del suelo y la emite en forma de vapor a la atmósfera en el proceso denominado transpiración, a su vez, el suelo emite vapor a la atmósfera en el proceso de evaporación. La pérdida total de agua del conjunto suelo-planta en forma de vapor en los procesos de evaporación y transpiración se denomina evapotranspiración (ET).

Estas pérdidas de vapor son mayores cuanto mayor es la temperatura, más fuerte es el viento y más seco es el aire. Ambos procesos, evaporación y transpiración, se ven afectados por la demanda evaporativa de la atmósfera, por la cantidad de agua disponible en el suelo, tipo de suelo y las características de la cubierta vegetal.

En nuestro país, existen importantes áreas agroecológicas que se ubican en zonas con climas áridos y semiáridos con períodos secos entre 6 y 8 meses, generando una alta dependencia de agua de riego para los cultivos. Si el método de riego utilizado es correctamente seleccionado y bien operado, las pérdidas de agua llegan a disminuir en forma importante, y, por lo tanto, el requerimiento de riego pasa a ser altamente dependiente de la evapotranspiración.

Por otra parte, en las áreas de riego con climas subhúmedos y húmedos, el requerimiento de riego puede disminuirse en función de las precipitaciones que caen en épocas del año que coinciden con el período de crecimiento de los cultivos, además del aporte por capilaridad, cuando hay presencia de napas freáticas superficiales.

Es así como la ET varía con la estación del año y la suma de ésta durante los correspondientes períodos de crecimiento de cada cultivo, determina el volumen de agua requerido.

Cuando el cultivo está estableciéndose en terreno, la componente dominante de la ET es la evaporación (E). A medida que el cultivo crece, desarrolla superficie foliar y cubre más terreno, aumenta la componente transpiración y a su vez disminuye la evaporación por sombreado de suelo, llegando la transpiración a alcanzar valores de 90 a 95% de la ET.

Este concepto resulta fundamental en los cálculos de requerimiento de riego de los cultivos, por lo que su medición o estimación es primordial para la planificación del riego.

El uso del “*mulch*”<sup>1</sup> como técnica común en algunas plantaciones como la frutilla, permite entre otras cosas, reducir significativamente los procesos de evaporación, incrementando los niveles de transpiración del cultivo, con el consecuente aumento de la eficiencia de riego.

---

(1) El “mulch” o acolchado, se define como la estrategia que se utiliza para proteger los suelos agrícolas, aportando diversos beneficios en el desarrollo del cultivo.

### 3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ( $Et_0$ )

La  $Et_0$  representa una tasa de evapotranspiración que ocurre desde una superficie de referencia cubierta de pasto con características definidas, en condiciones de abastecimiento hídrico adecuado (Figura 9). Este concepto, depende de distintos parámetros climáticos, y se utiliza para determinar la demanda evapotranspirativa de la atmósfera independiente del tipo de cultivo, su desarrollo y prácticas, manejo normalmente utilizadas, permitiendo además, comparar la evapotranspiración producida en el cultivo de referencia (pasto) con la evapotranspiración ocurrida en otros cultivos.



**Figura 9. Determinación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )**  
(Fuente: FAO)

En términos prácticos, el método oficial aceptado para la obtención de la  $Et_0$ , es el recomendado por la FAO y que utiliza la ecuación de Penman-Monteith.

Este método corresponde a una ecuación que describe la evapotranspiración desde una superficie vegetal uniforme, incorpora parámetros fisiológicos y aerodinámicos, que se ajusta con bastante precisión a valores reales en pruebas realizadas con lisímetros, bajo distintas condiciones climáticas.

Valores estándar estimados de  $Et_0$  para condiciones climáticas distintas se presentan en la Tabla 3. Esta información se entrega solo con fines referenciales y en ningún caso se pueden utilizar para realizar estimaciones reales de la misma.

**Tabla 3. Evapotranspiración de referencia promedio según climas, en mm/día**

Clima (Región templada)	Temperatura media diaria (C°)		
	Fría 10°	Moderada 20°C	Cálida > 30° C
Húmedo y subhúmedo	1-2 mm/día	2-4 mm/día	4-7 mm/día
Árido y semiárido	1-3 mm/día	4-7 mm/día	6-9 mm/día

Fuente: FAO, 1998

### 3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (ETc)

La evapotranspiración de cultivo (Etc), se define como el agua evapotranspirada por un cultivo creciendo en una superficie, bien fertilizado, bajo condiciones óptimas de suelo y agua, libre de enfermedades y que alcanza su producción potencial en un medio ambiente dado.

La cantidad de agua requerida para compensar las pérdidas provocadas por la Etc, se conoce como los requerimientos de agua del cultivo. Los requerimientos de agua de riego básicamente representan la diferencia entre el requerimiento de agua de los cultivos y la precipitación efectiva.

En términos prácticos, la Etc es posible de calcular mediante la siguiente relación:

$$Et_c = K_c * Et_0$$

Donde:

$Et_c$  Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$K_c$  Coeficiente de cultivo (adimensional)

$Et_0$  Evapotranspiración de referencia (mm/día)

La determinación de la evapotranspiración de referencia (Eto), es posible de obtener desde la Cartografía de Evapotranspiración Potencial de Chile, de la Comisión Nacional de Riego (CNR-CIREN).

### 3.3. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo es un parámetro que varía entre especies y durante el crecimiento de éstas; en función de este último concepto es que se han definido estados de crecimiento estándar.

Existen documentos técnicos con los rangos aceptados y reconocidos. A modos de ejemplo, la Tabla 4, presenta valores máximos y mínimos para diferentes cultivos.

**Tabla 4. Rango de valores de coeficiente de cultivo (Kc).**

Cultivo	Valor mínimo	Valor máximo
Alfalfa	0.85	1.00
Almendro	0.95	1.05
Arándano	0.60	1.00
Arroz	1.05	1.15
Avellano Europeo	0.70	0.80
Cerezo	1.00	1.25
Ciruelo	0.90	1.15
Damasco	0.80	1.15
Duraznero y Nectarino	1.00	1.15
Espárragos	1.00	1.10
Frambuesa	0.70	0.80
Granado	0.80	0.95
Kiwi	1.10	1.20
Limonero	0.60	0.80
Maíz	1.00	1.10
Manzano	1.05	1.25
Naranja	0.65	0.90
Nogal	0.90	1.10
Olivo para mesa	0.50	0.80
Olivo para aceite	0.40	0.80
Palto	0.75	0.85
Papas	1.00	1.10
Peral	1.00	1.15
Pistacho	1.10	1.30
Pradera	0.90	1.05
Remolacha	1.00	1.10
Tabaco	0.95	1.10
Tomate	1.00	1.10
Tuna	0.25	0.35
Vides viníferas	0.50	0.60
Vid de mesa	1.00	1.30

Fuente: Documento Técnico DT-05 2017 Ley de Riego 18.450, Comisión Nacional de Riego

### 3.4. ANTECEDENTES BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA UNIDAD DEMOSTRATIVA

De aquí en adelante, todo el proceso de cálculos se realizará en base a la unidad demostrativa ejecutada en la escuela Agrícola de Cato, considerando que los cultivos ya han sido establecidos, y que será tecnificado en base a 5 sectores de riego como se describe a continuación:

- **Cultivo y superficie:** El proyecto se ajustó a la demanda actual del Liceo Agrícola, un sector de hortalizas de rotación corta de 240 m<sup>2</sup>, segundo sector invernadero de hortalizas y almácigos de 300 m<sup>2</sup>, un tercero, cuarto y quinto sector con avellano europeo según descripción inicial con 528 m<sup>2</sup> cada uno.
- **Cabezal de riego:** incluye un equipo de impulsión centrífugo eléctrico, sistema de filtración con filtro de anillas, fertirriego mediante bomba centrífuga inyectora.
- **Red de distribución:** de tuberías de PVC, y laterales de riego tipo cinta.
- **Sectores de riego:** 5 sectores de riego descritos en el punto 1.
- **Sistema fotovoltaico:** que consta de 4 paneles fotovoltaicos con inversor monofásico con variador de frecuencia integrado, que permite energizar el equipo de impulsión con energía solar directa o con energía de la red de distribución, en 220 VAC de energía eléctrica monofásica.

### 3.5. CÁLCULOS PARA DETERMINAR EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO

Con los antecedentes de cultivo y ubicación de la unidad demostrativa, determinemos la evapotranspiración de cultivo.

Para comenzar, la Tabla 5, muestra los valores de evapotranspiración de referencia obtenidos para los meses de máxima demanda en la zona de Cato, región de Ñuble.

**Tabla 5. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) para la zona de Cato  
Región del Ñuble, expresada en mm/día**

Ubicación	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Cato	2,41	3,54	4,80	5,94	6,31	5,48	3,84

Fuente: Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile, Agrimed- Universidad de Chile año 2015

El Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ ), puede obtenerse desde el Documento Técnico DT-05-2017 Ley de Riego 18.450 Comisión Nacional de Riego; de no estar disponible para el cultivo a regar, puede extraerse de otros documentos oficiales.

Para las hortalizas, se presentan los valores obtenidos del Boletín 56 de la FAO, Evapotranspiración de Cultivo, cuyos valores se presentan a continuación:

FASES	Inicio	Media Estación	Fin de Estación
Kc hortalizas	0,30	0,95	0,45

Recordando la relación:

$$Et_c = K_c * Et_o$$

Se hace uso del  $K_c$  de la máxima demanda, con el valor de  $Et_o$  del mes de máxima demanda del periodo, con lo que se obtiene:

$$ETc = 0,95 * 6,31 = 5,99 \text{ mm/día}$$

### 3.6. DEMANDAS HÍDRICAS NETAS Y BRUTAS DE UN CULTIVO

Estas demandas corresponden a la cantidad de agua que se debe aplicar a la planta mediante el riego.

La demanda neta de riego (DNR) corresponde a la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo ( $Et_c$ ) y la precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ) que corresponde a la fracción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo. La fracción que no es utilizada puede perderse en forma de escorrentía superficial, percolación profunda o evaporación.

Por lo tanto, la demanda neta de riego se define como:

$$DNR = ETc - P_{ef}$$

Donde:

DNR: Demanda neta de riego (mm/día)

ETc : Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

P.ef: Precipitación efectiva (mm/día)

Cuando la  $ET_c$  se determina para un periodo sin precipitaciones, entonces la  $DNR = ET_c$ . Sin embargo, ésto sería bajo condiciones ideales y considerando una aplicación de riego 100% eficiente. Dado que en la realidad, aún con los métodos más eficientes esto no se logra, es necesario obtener la demanda bruta de riego (DBR), la que se determina mediante la siguiente relación:

$$DBR = DNR / Ef_{riego}$$

Donde:

DBR: Demanda Bruta de Riego (L/planta/día)

DNR: Demanda Neta de Riego (mm/día)

$Ef_{riego}$ : Eficiencia de riego (%)

La Tabla 6, presenta valores de eficiencia de riego según sistema, reconocidos por la CNR y que se consideran oficiales para fines de proyectos a presentar a la Ley de Riego.

**Tabla 6. Eficiencia de aplicación en sistemas de riego**

Tipo de Riego	Eficiencia (%)
Tendido	30
Surco	45
Bordes	60
Aspersión	75
Cinta	90
Goteo	90

Fuente: CNR

Así, considerando que se implementará un sistema de riego por goteo, con una eficiencia estimada del 90%, la demanda bruta de riego sería:

$$DBR = 5,99/0,9 = 6,65 \text{ mm/día}$$

El valor de DBR obtenido está definido como una lámina de agua (mm/día), lo que en la práctica corresponde a un volumen por unidad de superficie de suelo ( $l/m^2$ ,  $m^3/há$ , etc.). Esto básicamente, porque la lámina de agua evapotranspirada se puede proyectar en una superficie de un metro cuadrado de suelo cubierto con cultivo ( $m^2$ ), que a su vez permite definir un volumen como se muestra la Figura 10, considerado en términos unitarios.

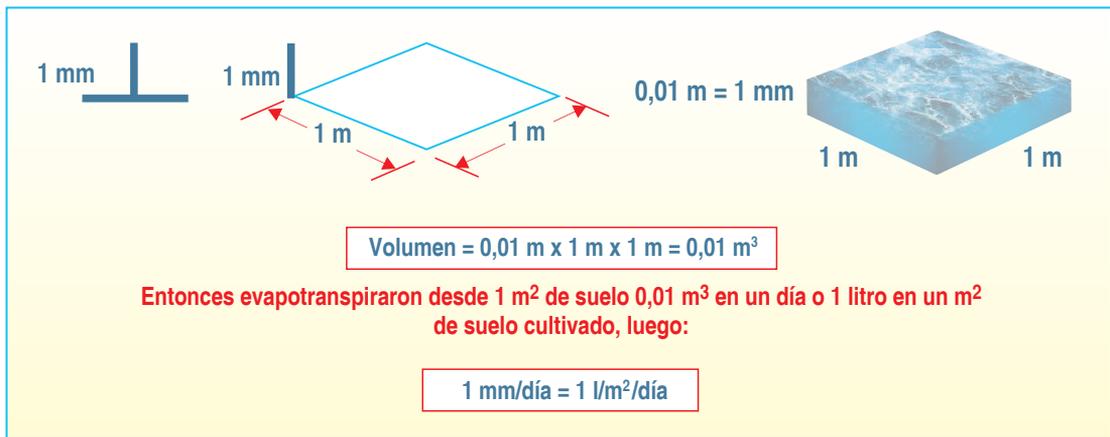


Figura 10. Representación de volumen por unidad de superficie

En esta etapa del diseño es necesario considerar el porcentaje de área sombreada por el cultivo con el objeto de definir la magnitud de la evapotranspiración en función de la superficie cubierta por la canopia (follaje) de la planta. Como es hortaliza de hoja establecida en una mesa o camellón, se asume un 100% de cobertura vegetal una vez que el cultivo alcanza su edad adulta

Con este antecedente, es posible determinar los requerimientos hídricos por planta ( $Req_{planta}$ ) mediante la siguiente expresión:

$$(Req_{planta}) = DBR * MP * PC$$

Donde :

DBR: Demanda Bruta de Riego (mm/día)

MP: Marco de Plantación (m<sup>2</sup>)

PC: Porcentaje de Cobertura (1 para hortalizas)

Considerando que para hortalizas se utilizó un marco estándar de plantación de 0,7 x 0,2 m y un porcentaje de cobertura de 1 (100%), para el cultivo en máximo crecimiento, se obtiene:

$$Req_{planta} = 6,65 \text{ mm/día} * 0,14 \text{ m}^2 * 1 = 0,93 \text{ mm/planta/día}$$

En la práctica es complejo e inconveniente realizar la operación de riego durante 24 horas diarias, por lo tanto, se establece un número de horas de riego diario y a partir de ese valor, se ajusta el caudal requerido ( $Q_r$ ) para el proyecto. Para nuestro caso, utilizaremos en principio 18 horas destinadas para riego en el día. Entonces:

$$Q_r = (24 \text{ horas}/18 \text{ horas}) * TR = 1,33 * 0,76 = 1,0 \text{ l/s/ha}$$

En esta etapa del diseño se debe establecer si el agua con la que se dispone a nivel predial permite satisfacer el requerimiento del cultivo en el período de máxima demanda en la superficie proyectada.

Para el caso de la unidad demostrativa, se cuenta con agua de pozo, cuyo caudal disponible ( $Q_d$ ) según la prueba de bombeo realizada, entregó un valor de caudal de 4 l/s. Relacionamos entonces, el caudal máximo disponible ( $Q_d$ ) a nivel predial con el Caudal requerido ( $Q_r$ ):

$$Q_d/Q_r = 4\text{l/s} / 1,0 \text{ s/ha} = 4,0 \text{ ha.}$$

Este análisis nos permite determinar que se cuenta con recursos de agua disponible a nivel predial para regar un máximo de 4 hectáreas plantadas con hortalizas al aire libre; mientras que el proyecto de la unidad demostrativa contempla una superficie de 0,2 hectáreas.

### 3.7. UBICACIÓN Y NÚMERO DE EMISORES

La ubicación y el número de emisores de una planta, está directamente relacionado con el volumen de suelo mojado o porcentaje de área de suelo mojado. Esta es la variable más importante en el diseño agronómico, como también en el posterior manejo del sistema. Idealmente se debe mantener en el perfil un volumen de suelo mojado óptimo, este se debe definir en función de la planta, ya que es la que debe utilizar de la mejor manera el agua aplicada, es decir, el movimiento vertical y lateral del agua en el perfil (Figura 11), debiéndose ajustar a la profundidad de raíces. Si existe un exceso, significara que se está perdiendo agua; si la aplicación es baja, se someterá a la planta a déficit hídrico, pudiendo producirse un estrés con el cual no se alcanzarán los rendimientos máximos potenciales. A su vez está asociado al tipo de suelo, el que según su composición retendrá más o menos agua.



Figura 11. Movimiento del agua en el suelo según tipo de suelo

Es necesario entonces definir el caudal del emisor el que se establece en función de las características de suelo, especialmente su textura y profundidad efectiva, y el tipo de cultivo, en nuestro caso hortalizas, sin perder de vista en el análisis la importancia de su valor sobre el tiempo de riego. En la unidad demostrativa el suelo es franco arcilloso y profundo, se decide utilizar cinta de riego con caudal de gotero de 1 l/hora, dada la disponibilidad de caudales disponibles de cinta de riego en el mercado de proveedores. Seleccionado el caudal de gotero, obtenemos el área promedio de suelo que humedece el emisor (Figura 12), esto es a partir de la proyección del bulbo de humedecimiento sobre un plano que se asocia a una circunferencia de diámetro D.

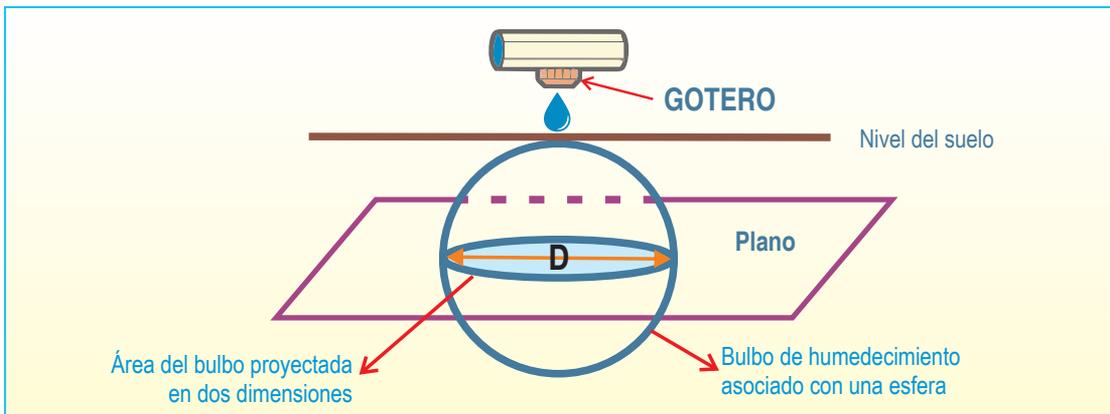


Figura 12. Área promedio, en base al diámetro del bulbo de humedecimiento formado bajo el gotero, proyectada en un plano

$$\text{Área Humedecimiento} = Ah = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

D = diámetro del bulbo de humedecimiento, en m.

Nótese que la relación para obtener el área

$$\text{Área circunferencia} = Ah = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Es equivalente a:

$$\text{Area circunferencia} = \pi * r^2$$

dado que  $r = D/2$  y  $r^2 = D^2/4$

Finalmente:

El marco de plantación considerado es de 0,2 x 0,7 m, es decir la cobertura es de 0,14 m<sup>2</sup> por planta, si consideramos un 100% de porcentaje de suelo mojado, obtenemos

0,14 m<sup>2</sup>. Relacionamos dicho valor con el área cubierta por el bulbo húmedo bajo el emisor seleccionado, que de acuerdo a pruebas de campo es de 0,14 m<sup>2</sup> (40 cm de diámetro de bulbo húmedo) y tenemos el número de emisores por planta, entonces:

$$N^{\circ} \text{ Emisores por Planta} = Ne = \frac{ASM}{Ah}$$

$$Ne = 0,14 \text{ m}^2 / 0,14 \text{ m}^2/\text{emisor} = 1 \text{ emisor por planta}$$

Donde:

ASM: Área de Suelo Mojado

Ah : Área de humedecimiento del emisor de riego.

Entonces definimos 1 emisor por planta que se puede ubicar en un arreglo de una línea lateral por hilera con goteros distanciados a 20 cm, coincidiendo con el distanciamiento entre plantas.

Una vez determinado el número y caudal de los emisores se debe consultar catálogos de fabricantes para seleccionar aquel emisor que cumpla con las características deseadas. En este caso consideramos los sectores de hortalizas al aire libre, se opta por una cinta de riego, con emisores distanciados a 20 cm entre sí, con un caudal por emisor de 1 l/hora. Los laterales están distanciados a 0,7 m entre sí.

Conocida la variable de volumen de suelo mojado o porcentaje de área de suelo mojado, el número de emisores por planta y el caudal del emisor, el siguiente paso en el diseño agronómico es determinar el volumen total de agua a aplicar, el caudal de diseño, sectores de riego, frecuencia y tiempo de riego necesarios para conseguir porcentaje de área de suelo mojado definido.

### 3.8. TIEMPO DE RIEGO (TR) Y SECTORES DE RIEGO (SR)

Este se obtiene relacionando el requerimiento diario por planta (NB planta) en el período de máxima demanda con el número de emisores por planta y el caudal de cada emisor.

$$TR = \frac{NB \text{ Planta}}{N^{\circ} \text{ Goteros} * Q \text{ gotero}} = \frac{0,93 \text{ l/planta/día}}{1 \text{ gotero} * 1 \text{ l/hora}} = 0,93 \text{ horas}$$

El Número de Sectores de Riego está limitado en primer lugar por el caudal disponible y las horas destinadas al riego durante el día. En el caso de la Unidad Demostrativa, el caudal disponible no es restrictivo, pues es posible regar incluso una superficie mayor a la propuesta. Cuando la disponibilidad de agua es menor, se hace necesario ajustar el caudal de cada sector al caudal disponible, y tener tantos sectores de riego como, el tiempo de riego diario y la disponibilidad de horas de riego al día lo permitan.

Recordemos que la superficie total a plantar, corresponde a 0,21 hectáreas que incluye hortalizas aire libre, hortalizas bajo invernadero y vivero frutal bajo invernadero. Para el diseño de hortalizas tanto al aire libre como invernadero, se establecerá un marco de plantación de 0,2 x 0,7 m.

En este caso se decide regar 5 horas diarias, considerando que existe una superficie adicional en la parcela con un huerto de frutales menores que también se deben regar durante el día. Asumiendo las 5 horas disponibles para regar en el día, y sabiendo que cada sector se regara en un tiempo de 0,93 horas, se aplica la siguiente relación:

$$SR = Hr_{disp} / TR$$

Donde:

SR : Sectores de riego

$Hr_{disp}$ : Horas disponibles de riego (hora)

TR : Tiempo de riego (hora/sector)

$$SR = \frac{5 \text{ horas}}{0,93 \text{ hrs/sector}} = 5,37 = 5 \text{ sectores}$$

## 4. DISEÑO HIDRÁULICO

Un factor determinante en el diseño de redes de tuberías está relacionado con las pérdidas de carga o presión a la que es sometido el flujo en el interior de las tuberías, por lo que el conocer los fundamentos de esta resistencia al flujo y conceptos como pérdidas de presión o carga en la conducción, permiten aplicar criterios y parámetros de diseño, en la evaluación y en el diagnóstico de operación de los diferentes equipos de riego. Existe un parámetro relacionado con las características del flujo, que influye notablemente en el valor de las pérdidas de carga y que se conoce como el número de Reynolds.

En el caso de tuberías, el número de Reynolds (R) se define así:

$$R = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Donde:

D: es el diámetro de la tubería, en cm

V: velocidad en cm/s

$\rho$ : la densidad en gr/cm<sup>3</sup>

$\mu$ : es la viscosidad del fluido en g/cm \* s

El valor del número de Reynolds es adimensional por lo que es independiente del sistema de unidades utilizado.

Reynolds determinó que en una tubería el flujo laminar se vuelve inestable cuando R ha superado un valor crítico, para transformarse posteriormente en flujo turbulento. Se ha demostrado empíricamente que en tuberías comerciales de sección transversal circular, que cuando el R es menor a 2000, el flujo es laminar y cuando R es mayor que 4000 el flujo es turbulento. En el rango de R de 2.000 a 4.000 existe un régimen denominado crítico y que corresponde a la transición entre el flujo laminar y turbulento. Desde el punto de vista de diseño, es muy importante determinar el valor del número de Reynolds existente en las condiciones del problema o situación a resolver, pues este valor me indicará qué relación matemática se ajusta mejor para la obtención de las pérdidas de carga en la red de conducción. Sin embargo, cuando se desea realizar evaluación y diagnóstico en la operación de equipos de riego, es posible trabajar solo con aproximaciones respecto al número de Reynolds con resultados

bastante aceptables. Bajo las condiciones de operación de los equipos de riego tecnificado en nuestro país, su geometría de instalación, diámetros comerciales de las tuberías y rangos de caudales utilizados normalmente, el régimen de flujo predominante es del tipo turbulento.

En 1944 el ingeniero norteamericano Lewis F. Moody desarrolló un diagrama que permitiera obtener el factor de fricción, y que se viera reflejado en función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería. El diagrama de Moody se presenta en la figura siguiente, en el cual se relaciona el régimen de flujo laminar, transicional y turbulento, con la rugosidad relativa del material de la tubería, y que permite obtener el valor de la constante  $f$  de la Ecuación de Darcy-Weibach.

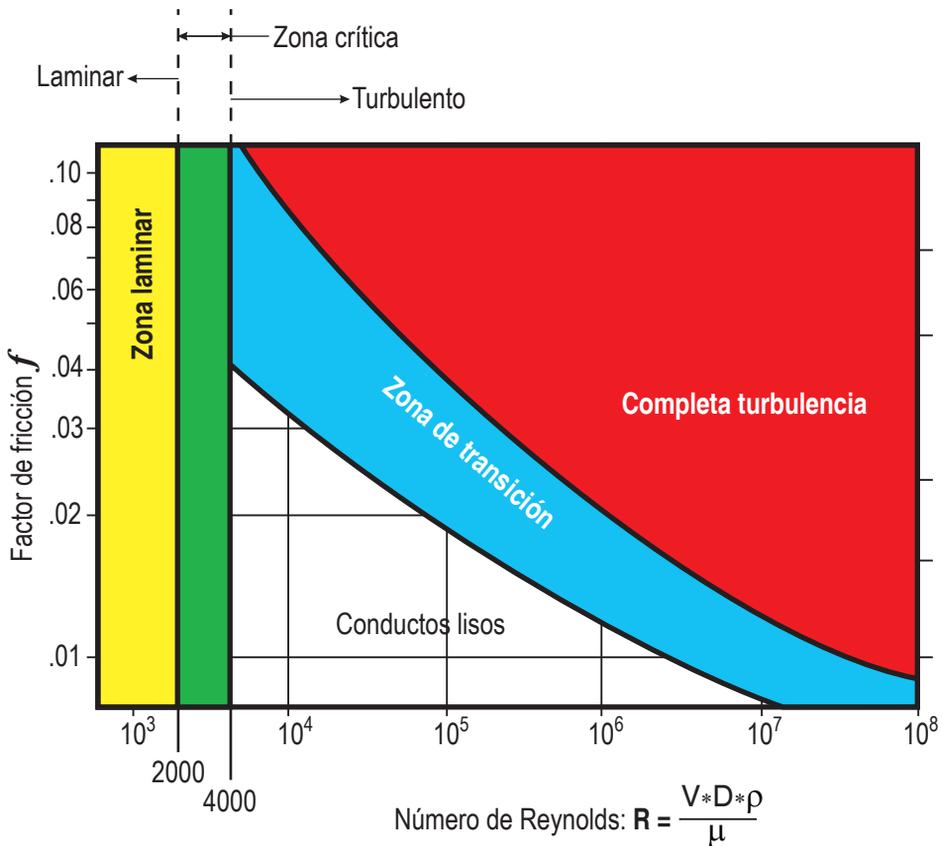


Figura 13: Diagrama de Moody donde se indican tipos de flujos

Es conveniente, en este análisis, mencionar algunos conceptos importantes relacionados con las características del material de las tuberías. Cuando la superficie de la pared de una tubería se amplifica, observamos que está formada por irregularidades

de diferente altura y con distribución aleatoria. Dicha característica es de difícil definición, puesto que depende de factores como la altura media de las irregularidades, la variación de la altura efectiva respecto a la altura media, la forma y distribución geométrica, la distancia entre dos irregularidades vecinas, etc.

Como es prácticamente imposible tomar en consideración todos estos factores, se acepta que la rugosidad puede expresarse como la altura media ( $\epsilon$ ) de las asperezas (rugosidad absoluta), como un promedio obtenido del resultado de un cálculo, y no propiamente por el obtenido como el promedio de las alturas determinadas físicamente de la pared, en cada tipo de tubería. Es más importante la relación que la rugosidad absoluta guarda con el diámetro del tubo, esto es la relación  $\epsilon/D$ , conocida como rugosidad relativa. La rugosidad es un factor importante en el comportamiento de los distintos tipos de régimen, es más, en la medida que la superficie interior de la tubería es más lisa las pérdidas por fricción se hacen menores. Existen una serie de coeficientes de fricción según el material de la tubería y que se utilizan en el cálculo para la obtención de las pérdidas de carga en las redes de tuberías de riego.

#### 4.1. PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS

Se producen pérdidas de carga o presión, que implican pérdidas de energía en cualquier fluido, con un caudal dado en una tubería. La causa de esta pérdida corresponde a: 1) Fricción de la tubería a lo largo de las secciones rectas de la tubería de diámetro y rugosidad uniforme; la pérdida en este caso ocurre en forma lineal a lo largo de la tubería, y se les conoce como pérdidas mayores y, 2) cambios de dirección o velocidad del flujo; estas corresponden a las denominadas pérdidas menores. Las pérdidas menores consisten en:

- Contracción de la sección transversal de la tubería; ésta puede ser repentina o de derivación y provoca un aumento de la velocidad de flujo.
- Ensanchamiento de la sección transversal de la tubería; ésta puede ser repentina o gradual y provoca una reducción de la velocidad de flujo.
- Obstrucción al paso del flujo, provocada por dispositivos de cierre como válvulas o que provocan un cambio en el área transversal de la tubería. Esta

provoca un aumento o reducción de la velocidad del flujo seguido por un restablecimiento gradual de la velocidad original.

- Pérdida de carga provocada por codos o curvas, de distintos ángulos y radio de curvatura.

La pérdida de carga menor total corresponde a la sumatoria de cada una de las pérdidas provocadas por los ítems anteriores. Una manera práctica y bastante aproximada de obtener este valor, es asumiendo que las pérdidas de carga menores corresponden al 10% de las pérdidas mayores.

### **Determinación de las pérdidas de carga en tuberías**

Existen ciertas leyes generales basadas en la observación y los experimentos, que parecen regir la fricción de los fluidos circulando en tuberías, y que son la base para las ecuaciones de pérdida de carga que se utilizan actualmente. Brevemente estas leyes son:

- Las pérdidas por fricción en un flujo bajo régimen turbulento, aumentan con la rugosidad de la tubería.
- La pérdida por fricción es directamente proporcional a la longitud de la tubería.
- La pérdida por fricción es inversamente proporcional a alguna potencia del diámetro de la tubería.
- La pérdida por fricción varía directamente con alguna potencia de la velocidad del flujo.
- La pérdida de fricción varía directamente con alguna potencia de la viscosidad cinemática.

### **Formula de Darcy Weisbach**

En 1850, Darcy, Weisbach y otros, basados en las observaciones anteriores, dedujeron una fórmula que lleva su nombre para calcular las pérdidas de carga (pérdidas mayores) de cualquier fluido en una tubería, que se expresa como sigue:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Hf: pérdidas mayores por fricción, en m.c.a.

f: factor de fricción, adimensional.

g = aceleración de gravedad, en m/s<sup>2</sup>.

D = diámetro, en m.

L = longitud de la tubería, en m.

V = velocidad media, en m/s.

De acuerdo al valor del número de Reynolds, se tendrá que :

$$\text{Si } R < 2000 \quad f = \frac{64}{R}$$

Para  $R > 3000$   $f = 0,32 * R^{-0,25}$  para valores de R comprendidos entre 3000 y  $10^5$

En el diseño de sistemas de riego utilice esta última relación para obtener el número de Reynolds, asumiendo que se trabaja en régimen turbulento. Evidentemente que cada vez que se realice un nuevo diseño se debe obtener el R respectivo con las variables del caso en análisis, es decir, velocidad y diámetro interno de la tubería. El valor de la viscosidad cinemática se asume como constante y será:  $1,006 * 10^{-6}$  en todos los casos.

### **Fórmula de Hazen-Williams**

(De uso general en régimen turbulento de transición) Se obtuvo experimentalmente, mediante ensayos realizados en laboratorio. Presenta la ventaja de su facilidad de uso, pero está limitada a la zona del régimen turbulento y los materiales con los que se ha realizado el ensayo.

Su uso resulta muy sencillo y cómodo, resultando muy práctico introducirlas como programas sencillos en las actuales calculadoras programables o planillas Excel del computador.

$$Hf = \frac{Q^{1,85}}{(0,28 * C)^{1,85} D^{4,87}} * L$$

Donde:

Hf: pérdidas mayores por fricción, en m.c.a.

Q : caudal que circula por la tubería en m<sup>3</sup>/s

D = diámetro, en m.

L = longitud de la tubería, en m.

C = factor de fricción, adimensional.

Valores del coeficiente de fricción C en la tubería para distintos tipos de materiales se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 7. Coeficiente C de la fórmula de Hazen-Williams**

Material	C
PE	150
PVC	150
Fibrocemento	140
Poliéster reforzado de fibra de vidrio	140 - 150
Fundición dúctil	110 - 130
Acero comercial	90 - 130

Elaboración propia a partir de Pizarro F. 1990

La fórmula *de Hazen-Williams* es frecuentemente utilizada y al igual que la formula anterior permite obtener pérdida de carga en tuberías. En nuestro ejemplo se utilizó la relación *de Hazen-Williams*.

### Factor de salidas múltiples

Como hemos visto en el análisis de las pérdidas de carga, el valor provocado por efectos de fricción depende entre otras variables del caudal. Cuando se estiman las pérdidas de carga cuyo caudal no es el mismo en la entrada y salida del tramo en análisis, se habla de tuberías con salidas múltiples, esto ocurre en la tubería terciaria o submatriz y en la tubería lateral. Cuando el flujo de agua avanza en estas tuberías se va reduciendo linealmente su caudal mientras el agua recorre la tubería, al restarse el agua en la derivación que enfrenta, producto de la salida hacia cada lateral en la tubería terciaria, y cada emisor en la tubería lateral. Christiansen (1942) desarrolló una expresión que permite con relativa facilidad el cálculo de la pérdida por fricción que se presenta en las tuberías con salidas múltiples, como ocurre con la terciaria y lateral. La pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples resulta ser menor que una tubería simple (con la misma longitud, diámetro interno idéntico y transportando un caudal constante a lo largo de toda su longitud), ello debido a que el caudal va disminuyendo en la dirección del flujo y, por lo tanto, la velocidad y pérdida de carga por fricción se reducen en cada segmento de la tubería entre dos salidas consecutivas y el que se encuentra desde la entrada de la tubería a la primera salida.

Christiansen desarrolló el factor de salidas múltiples  $F$ , el cual está dado por la siguiente expresión:

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

Donde:

$m$ : Exponente del caudal en la ecuación de Hazen y Williams, 1,85.

$N$ : Número de salidas múltiples en la longitud de la tubería.

Se asume lo siguiente en la deducción del factor  $f$ :

- La distancia entre salidas consecutivas es constante.
- El caudal que proporciona cada salida es constante.
- No hay caudal de aguas debajo de la última salida.
- Las características del tipo de material de la tubería (rugosidad) diámetro interno de la misma se mantienen constantes.

## 4.2. DISEÑO HIDRÁULICO SEGÚN SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Luego de establecida la sectorización en la etapa de diseño agronómico, esta se debe compatibilizar con criterios hidráulicos. El diseño en el sistema de riego tecnificado consiste en ubicar el sector más crítico hidráulicamente; esto es, el más alejado y el más alto con respecto a la fuente de agua. A este nivel del proceso es necesario que exista una definición de la disposición de las tuberías en terreno, especialmente en las tuberías terciarias y laterales, como el número de sectores y su arreglo en el espacio físico donde se instalarán. Esto se debe establecer como ya se ha analizado durante el desarrollo del diseño agronómico.

Una vez ubicado el sector crítico se realiza el análisis de tolerancia de presiones y se definen las pérdidas de carga en el lateral, que en nuestro caso utilizaremos la ecuación de pérdida de carga de Hazen y Williams. Nos fijamos como tolerancia máxima de pérdida de presión en el sector de riego un diferencial de presión entre el último y primer emisor del sector de no más de un 10%. De esta manera ese 10% se puede distribuir con un 50% en el lateral y el otro 50% en la terciaria. A partir de dicha ecuación

y fijada la tolerancia de presiones en el lateral y terciaria que correspondería al  $Hf_{lateral}$  y  $Hf_{terciaria}$  o pérdida de carga en la tubería lateral y tubería terciaria respectivamente. Se despeja en la ecuación el diámetro en función del resto de los datos. El valor del caudal en la ecuación corresponde al caudal que circula en el interior de un lateral y la terciaria según sea el caso, por lo tanto, se obtiene a partir del producto entre el número de goteros que tiene el lateral, la terciaria y el caudal de cada gotero y de cada lateral.

Entonces para el lateral: 
$$\Delta H_{lateral} = Hf$$

La ecuación que utilizaremos es Hazen y Willams que incluye el factor de corrección F propuesto por Christiansen, asociado a las salidas múltiples, ésto considerando que la tubería lateral cuenta con una serie de goteros equidistantes, por donde se va reduciendo el caudal en el lateral, a medida que fluye el agua a lo largo de las tuberías, entonces tenemos un lateral con salidas múltiples y la ecuación es:

$$Hf = \frac{Q^{1,85}}{(0,28 C)^{1,85} D^{1,85}} L F$$

Reemplazando y despejando el diámetro tenemos:

$$D = \left[ \frac{Q^{1,85}}{(0,28 C)^{1,85} Hf} L F \right]^{\frac{1}{4,87}}$$

Entonces, reemplazamos valores, en primer lugar se obtiene el factor F de Christiansen con la siguiente relación.

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

Reemplazamos valores en la ecuación, entonces

$$F = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2 * 165} + \frac{\sqrt{1,85 - 1}}{6 * 165^2} = 0,35$$

El número de salidas múltiples (N) se obtiene a partir de la longitud del lateral, que de acuerdo a nuestro arreglo en el predio (Figura 1) la tubería terciaria se conecta con las laterales en el sector medio del sector; entonces la longitud total se divide en 2 por lo que son 33 m en nuestro ejemplo, dividido por la distancia entre emisores, que es de 20 cm.

$$N = \frac{\text{Longitud lateral, m}}{\text{Distancia entre emisores, m}} = \frac{33 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} \\ = 165 \text{ emisores o salidas múltiples}$$

Dado el arreglo del sector en el terreno al dividir la distancia total del lateral en 2, el caudal que lleva el lateral al llegar al punto de inserción de la terciaria entre ambas tuberías también se divide en 2, derivándose la mitad en un sentido del riego y la otra mitad en el otro.

Sustituyendo el valor de F y el resto de los valores de la ecuación para obtener el diámetro tenemos:

$$D = \left[ \frac{(0,000046 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85}}{(0,28 * 150)^{1,85} * 0,5 \text{ m.c.a}} * 33 \text{ m} * 0,35 \right]^{\frac{1}{4,87}} = 0,0116 \text{ m} = 12 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido corresponde al mínimo diámetro interno de la tubería lateral de 33 m de longitud que me asegura la tolerancia de pérdida de presión de 0,5 m.c.a. Ahora se debe ubicar el diámetro comercial o nominal inmediatamente superior; en este análisis además se debe considerar el espesor de la tubería, que es entregado por el catálogo del fabricante. Se escoge diámetro de tubería comercial 16 mm, con espesor de pared, 0,8 mm.

Lo que determina que finalmente mi diámetro interno es de 14,4 mm (16 mm - 2\*0,8 mm).

Para el cálculo de las tuberías terciarias el procedimiento es el mismo, asumiendo que  $\Delta H_{\text{terciaria}} = H_f$ ; el caudal que se considera en este caso es el de todos los laterales operando simultáneamente en el sector de riego, o en otras palabras, el caudal del sector. En el momento de estimar las pérdidas de carga según los diámetros obtenidos es necesario, en el caso de tuberías terciarias al igual como se realizó en la tubería lateral, considerar el factor de salidas múltiples (Factor de Christiansen).

Reemplazando para la terciaria en la expresión para obtener  $F$ , tenemos.

$$F = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2 * 12} + \frac{\sqrt{1,85 - 1}}{6 * 12} = 0,35$$

Sustituyendo el valor de  $F$  y el resto de los valores de la ecuación para obtener el diámetro tenemos:

$$D = \left[ \frac{(0,001 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85}}{(0,28 * 150)^{1,85} * 0,5 \text{ m.c.a}} * 33 \text{ m} * 0,35 \right]^{\frac{1}{4,87}} = 0,027 \text{ m} = 27 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido corresponde al mínimo diámetro interno de la tubería terciaria de 8 m de longitud, que me asegura la tolerancia de pérdida de presión de 0,5 m.c.a. Ahora se debe ubicar el diámetro comercial o nominal inmediatamente superior, en este análisis además se debe considerar el espesor de la tubería, que es entregado por el catálogo del fabricante. Se escoge diámetro de tubería comercial 40 mm con espesor de pared, 1,8 mm pudiendo incluso seleccionar un diámetro de 32; mm sin embargo, con un diámetro mayor el sistema queda dimensionado en la eventualidad que se llegue a utilizar caudales superiores a 1 l/s en la red.

Lo que determina que finalmente mi diámetro interno es de 38,4 mm (40 mm - 2\*1,6 mm).

Como el diámetro de la tubería lateral y terciaria ya se ha obtenido, solo queda pendiente el de la tubería principal. En este caso se utiliza el criterio de la velocidad de flujo en el interior de la tubería. Se acepta, como rango tolerable de diseño velocidades de flujo en tuberías, entre 0,6 y 3 m/s. dado que velocidades menores de 0,6 m/s generan diámetros mayores y por lo tanto costos de inversión y operación mayores. Por otro lado, velocidades mayores de 3 m/s determinan riesgos de sobre presiones, que pueden causar rotura o desacoples en la red, y además los excesos de velocidad determinan una menor vida útil de la tubería.

En una tubería que conduce agua y tenga un flujo que la completa, asumiendo además que el líquido es incompresible y la tubería no elástica, en cualquier instante dado, pasará la misma cantidad de líquido por cada sección transversal de la tubería. Este enunciado se asocia al concepto de continuidad del flujo.

Para cualquier curso de agua, el caudal  $Q$  en una sección se expresa por:

$$Q = A * v$$

Donde:

$A$ : es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de ésta, se expresa en unidades de área,  $m^2$ .

$v$ : es la velocidad media del flujo, se expresa en  $m/s$ ,  $m/h$ .

$Q$ : Caudal en  $m^3/s$  o  $m^3/h$

Entonces, la velocidad media del flujo queda definida por el caudal dividido por el área de la sección transversal.

El área expresada en función del diámetro de la tubería corresponde a:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

Reemplazando ecuación y despejando el diámetro tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Reemplazamos valores para obtener diámetro, entonces.

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,002 \text{ m}^3/s}{3,14 * 1,5 \text{ m/s}}} = 0,041 \text{ m} = 42 \text{ mm}$$

Con esto obtenemos el diámetro de tuberías principal o matriz; recuerde que el caudal en este caso es el que circula para abastecer un sector, es decir, corresponde al caudal del sector. Recuerde además que el diámetro obtenido es el interior y se debe acercar al diámetro comercial o nominal, inmediatamente superior restándole a su valor el valor del espesor de la tubería multiplicado por 2. La información del espesor de la tubería se encuentra en los catálogos técnicos. Seleccionamos diámetro de 50 mm con espesor 2,4 mm.

Lo que determina que finalmente mi diámetro interno es de 45,2 mm (50 mm - 2\*2,4 mm)

Una vez definidos todos los diámetros, matriz, secundaria, terciarias y laterales es necesario determinar las pérdidas de carga totales que se producen en el recorrido del

agua hacia el sector. Para ello utilizaremos la ecuación de Hazem y Williams para cada tramo y tipo de tubería con su respectivo caudal, diámetro y longitud, en el sector crítico de hortalizas al aire libre.

Pérdidas de carga tubería lateral:

Remplazando valores en la ecuación tenemos

$$Hf_{Lateral} = \frac{0,000046^{1,85}}{(0,28 * 150)^{1,85} 0,0144^{4,87}} * 33 * 0,35 = 0,1 \text{ m.c.a}$$

Pérdidas de carga tubería terciaria:

Remplazando valores en la ecuación tenemos

$$Hf_{Lateral} = \frac{0,001^{1,85}}{(0,28 * 150)^{1,85} 0,0384^{4,87}} * 8 * 0,35 = 0,06 \text{ m.c.a}$$

Pérdidas de carga tubería matriz:

Finalmente las pérdidas de carga en la tubería matriz considerando el tramo desde la caseta de riego hasta el sector 5.

Remplazando valores en la ecuación tenemos

$$Hf_{Lateral} = \frac{0,001^{1,85}}{(0,28 * 1,50)^{1,85} 0,0452^{4,87}} * 60 = 0,58 \text{ m.c.a}$$

En la Tabla siguiente se presenta el detalle del cálculo hidráulico de los 5 sectores de riego.

**Tabla 8. Diseño hidráulico de los 5 sectores de riego**

Nº Sector	Destinación Matriz a sector m	Ø matriz por tramo mm	Largo terciaria m	Ø Terciaria por tramo mm	Caudal terciaria l/s	Largo lateral m	Ø lateral mm	Caudal lateral l/s
1	13	50	10	32	0,5	10	16	0,0833
2	22	50	8	32	0,83	30	20	0,1667
3	44	50	8	40	1	33	16	0,046
4	52	50	8	40	1	33	16	0,046
5	60	50	8	40	1	33	16	0,046

**Tabla 9. Pérdida de carga en los cinco sectores de riego**

N° Sector	Pérdida carga matriz m.c.a.	F. salidas múltiples Hazen	Pérdida por terciaria en sector m.c.a.	F. salidas múltiples con Hazen	Pérdida en el lateral Hazen	Desnivel matriz con primer lateral del sector m.c.a.
1	0,13	0,35	0,03	0,35	0,1	0,00
2	0,15	0,35	0,07	0,35	0,5	0,00
3	0,42	0,35	0,06	0,35	0,1	0,00
4	0,50	0,35	0,06	0,35	0,1	0,00
5	0,58	0,35	0,06	0,35	0,1	0,00

En esta etapa de la formulación, el análisis de las pérdidas de carga provocadas por fricción forma parte de los requerimientos energéticos totales del sistema hidráulico, que considera además, topografía del terreno (suelo plano con 0% de pendiente), distancia de la fuente al sector de riego más alejado, presión de operación del emisor de riego, entre otros, que se traduce en el requerimiento de presión del sistema y por lo tanto la exigencia de presión que tendrá el equipo de impulsión, concepto conocido como carga dinámica total (CDT). En la tabla siguiente se resume el valor de CDT obtenido a partir de datos del diseño hidráulico y de la topografía del terreno, considerando todos sus componentes.

**Tabla 10. Carga Dinámica Total**

<b>Carga Dinámica Total</b>	
<b>Pérdida de carga</b>	<b>Sectores 1 al 5 (m.c.a)</b>
Pérdidas de carga matriz	0,58
Pérdida de carga terciaria	0,06
Pérdida de carga lateral	0,1
<b>Niveles geométricos, cabezal y emisor</b>	
Nivel dinámico agua, m	1
Pérdidas de carga en el cabezal	8
Presión de operación del emisor	10
Desnivel	0,00
<b>Total</b>	<b>19,74</b>
<b>Caudal l/s</b>	<b>1,00</b>
<b>Caudal l/min</b>	<b>60</b>

### 4.3. SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO

Para cualquier tipo de riego, la mejor selección del modelo de bomba es el que funcione con máxima eficiencia. Desafortunadamente, esto no es muy común porque para cada modelo de bomba hay solo un caudal y una carga o nivel de presión en la que se obtiene la máxima eficiencia. Como es imposible para los fabricantes diseñar y construir unidades para cada tipo de operación y requisitos de funcionamiento, se ha decidido la fabricación de tipos estándar que abarquen la gran variabilidad de situaciones de requerimientos de caudal y presión o altura de columna de agua a elevar. Dentro de una amplia variedad de modelos ofrecidos por el fabricante, siempre existe la posibilidad de escoger una unidad que se adapte a las necesidades del interesado y lograr una eficiencia muy cercana al máximo posible. Existen curvas características que deben ser usadas para seleccionar la mejor unidad apropiada a la aplicación y situación deseada.

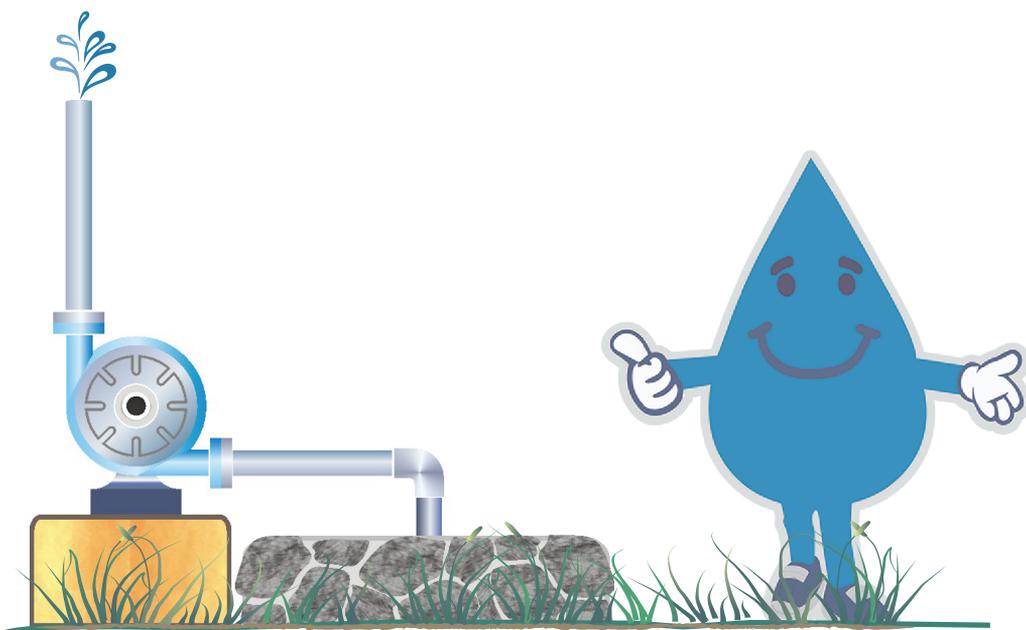


Figura 14. La selección de la bomba es un punto crítico en el proceso de diseño

Estas curvas se obtienen en bancos de prueba y generalmente las proporciona el fabricante, se obtienen para una muestra de la producción y se asume que todas las bombas con las mismas características tienen la misma curva de rendimiento. Algunos fabricantes, a solicitud del cliente, realizan las pruebas y obtienen la curva característica de la bomba en particular que se adquiere.

En la figura siguiente se presenta una curva típica de rendimiento de una bomba. Obsérvese que la curva de Presión-Caudal o Altura-Caudal (H-Q) es única para un diámetro y dada una velocidad en revoluciones por minuto, estas curvas reciben el nombre de *Curvas Características de la Bomba*. La figura corresponde al equipo de bombeo que se ajusta para la condición de nuestro ejemplo, con un caudal de 60 l/minuto (1 l/s) y una presión de operación o Carga Dinámica Total de 22 m.c.a., en dicho valor de presión está considerada la energía requerida para la partida de la bomba, que corresponde a un 10% más con respecto a la calculada en la tabla anterior.

## CURVAS Y DATOS DE PRESENTACIÓN

50 Hz  $n=2900^{-1}$  HS= 0 m

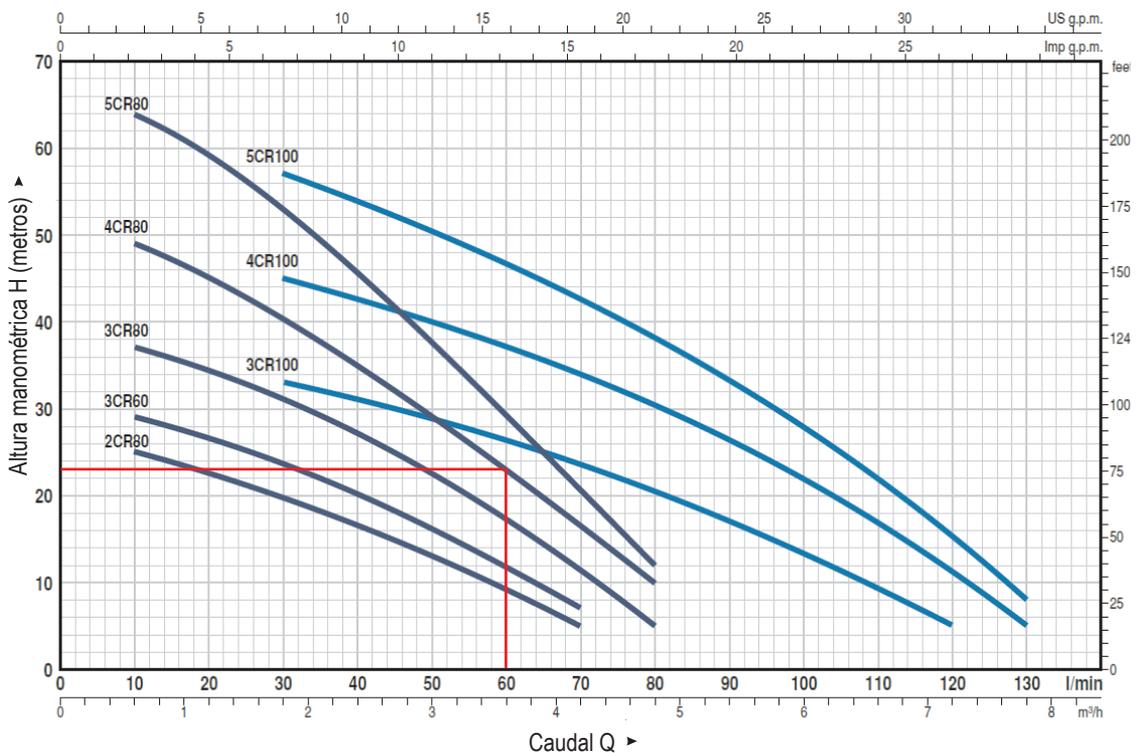


Figura 15. Curva característica de la bomba seleccionada para nuestra unidad demostrativa

Surgen otras relaciones entre variables que son determinantes en la operación de los equipos de bombeo, generándose curvas complementarias que permiten contar con mayor información respecto al rendimiento de los equipos. En resumen, las curvas que ofrecen mayor interés desde el punto de vista de su utilización son las: Curvas de Altura

en función del Caudal, Potencia en función del caudal y rendimiento o eficiencia en función del caudal, ésto para bombas con fuentes de energía eléctrica, diésel o fotovoltaicas.

**La curva característica de Caudal-Presión** es la que a una velocidad constante muestra las diferentes cantidades de agua o caudal suministradas por dicha bomba al variar la carga o presión de trabajo.

**La curva de potencia** muestra la cantidad de fuerza o energía necesaria para accionar la unidad.

**La curva de eficiencia** indica la cantidad de trabajo aprovechable de la bomba en porcentaje aprovechable de la fuerza suministrada al eje de la unidad.

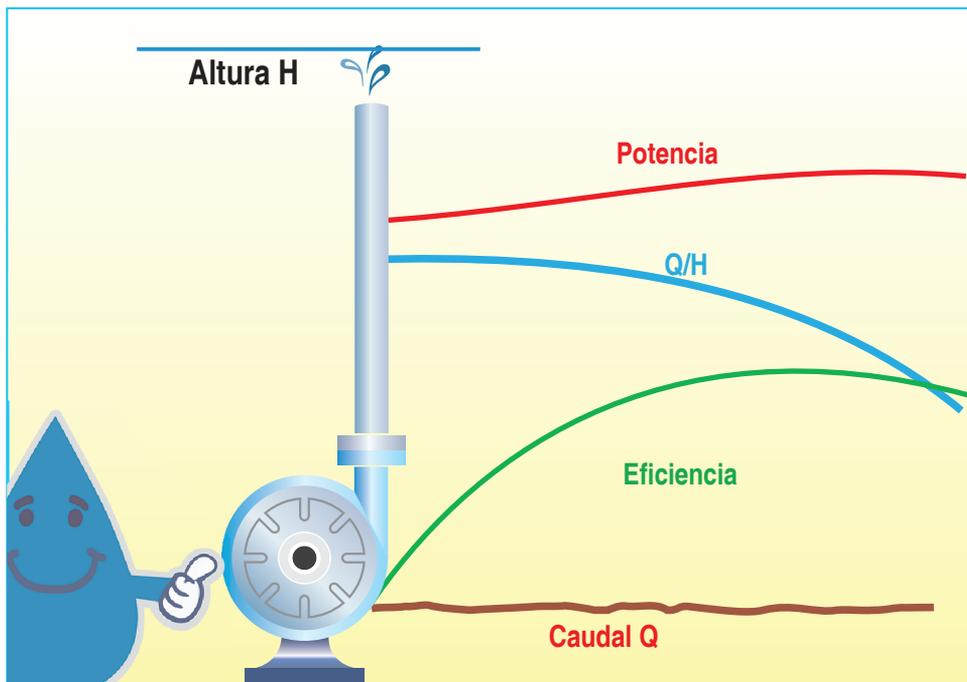


Figura 16. Curva característica de la bomba ( $Q/H$ ), potencia y eficiencia

La curva  $Q/H$ , (Caudal / Presión) nos indica, como ya mencionamos, las distintas alturas manométricas que proporciona una bomba para cada uno de los caudales de

paso que atraviesa el impulsor. Es sin duda alguna, la curva característica más importante, puesto que muestra la capacidad de generar energía que tiene la bomba, lo que en definitiva constituye su objetivo primordial. Se entiende por altura manométrica  $H$ , el valor que determinamos con el manómetro, en el supuesto que las tuberías de succión y aspiración tuvieran el mismo diámetro. Es pues, la diferencia energética existente entre la salida y la entrada de la bomba. En la evaluación de equipo de sistemas de riego este diferencial considera, además, los requerimientos de presión del equipo de riego, incorporando otros valores en su determinación.

En la curva HP/Q, (Potencia/caudal) la potencia a la que se refiere esta curva corresponde a la necesaria en el eje de transmisión del sistema motor bomba. Entonces, aquí se distingue la potencia entre la potencia absorbida por el equipo de bombeo y la potencia útil que finalmente se le transmite al fluido. Esta potencia total queda expresada por la siguiente relación:

$$HP = \frac{Q * H}{75 \eta}$$

Donde:

HP: Potencia de la bomba, expresado en HP

Q: Caudal impulsado, en l/s

H: Altura manométrica, en m.c.a.

$\eta$ : Eficiencia de la bomba, expresada en tanto por uno

En función de los datos de nuestro ejemplo, desea elevar 1 l/s, con una carga manométrica total o carga dinámica total de 21 m.c.a, y una eficiencia de la bomba de 75%.

Reemplazando valores y cambiando unidades, tenemos:

$$HP = \frac{1 \text{ l/s} * 22 \text{ m.c.a.}}{75 * 0,75}$$

Curva  $\eta$ -Q (Eficiencia/caudal), es importante precisar en detalle cuales son las pérdidas de eficiencia que ocurren en los equipos de bombeo. En primer lugar ocurren pérdidas hidráulicas ( $\eta_h$ ) causadas por fricción y choques del fluido contra las paredes y cuerpo de la bomba. Pero, además de las pérdidas hidráulicas, tenemos las pérdidas por fugas

y las pérdidas mecánicas. Ambas pérdidas se cuantifican respectivamente, a través de los rendimientos volumétrico y mecánico.

Las pérdidas volumétricas ( $\eta_v$ ) son debidas a la aparición de un caudal de fugas que retorna desde la salida del impulsor hacia la entrada, producto del gradiente de presiones que se produce entre el cuerpo de la bomba y el impulsor. Tales fugas dependen de la presión que genera la bomba, de las características y geometría de la carcasa y del trayecto que debe seguir el caudal de fugas. El trayecto, por ejemplo puede diseñarse muy angosto para reducir pérdidas, pero a un mayor costo de fabricación.

Finalmente, las pérdidas mecánicas ( $\eta_m$ ), incluyen las pérdidas de energía por fricción existentes en los rodamientos y cojinetes de la bomba, así como el roce de la superficie exterior del impulsor con el fluido, conocida como pérdida en los discos.

Los fabricantes en los catálogos indican el rendimiento total que se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\eta = \eta_h * \eta_v * \eta_m$$

La bomba finalmente seleccionada debe siempre funcionar dentro de su límite de máxima eficiencia. Otros modelos de bomba de idéntico diseño tendrán prácticamente las mismas características, con solo ligeras diferencias debidas al proceso de fabricación (fundición).

Los equipos de bombeo deben venir detalladas en los catálogos de los fabricantes de equipos que posean una cierta calidad técnica, de este modo se cuenta con referencias apropiadas que caracterizan perfectamente el ámbito de aplicación de la bomba.

Para la obtención de la bomba ideal en las condiciones de trabajo deseadas, es necesario utilizar estas curvas. El uso de las curvas se basa en el conocimiento del caudal total a bombear y de la altura o carga dinámica total a elevar. Con dichos valores se puede utilizar las curvas características y seleccionar el equipo de bombeo requerido.

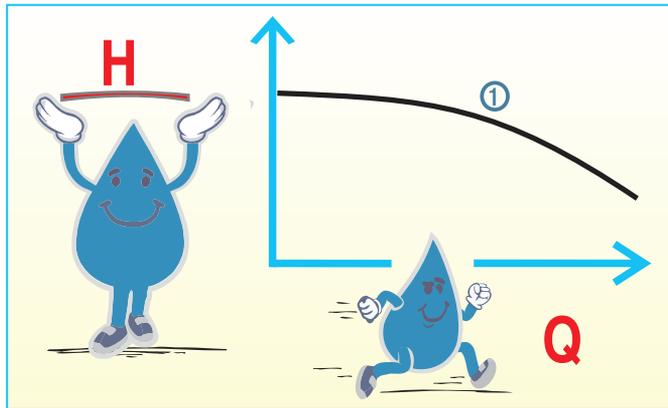


Figura 17. Curva H/Q característica de una bomba

La curva característica como se aprecia en la figura 17 representa la relación entre el caudal (Q) impulsado y la presión (H) otorgada al agua por un equipo de bombeo. Esta curva es característica y propia y única para cada modelo de equipo de bombeo.

La carga dinámica total (C.D.T), también denominada altura manométrica total se expresa con la siguiente ecuación:

$$CDT = H_s + H_d + H_c + H_f + H_{op}$$

En la que:

$CDT$  : Carga dinámica total, m.c.a.

$H_d$  : Carga estática de descarga, m

$H_c$  : Pérdidas de carga en el cabezal de riego, m.c.a.

$H_s$  : Carga estática de succión, m

$H_f$  : Pérdidas de carga por fricción en la tubería, m.c.a.

$H_{op}$  : Presión de operación del emisor de riego, m.c.a.

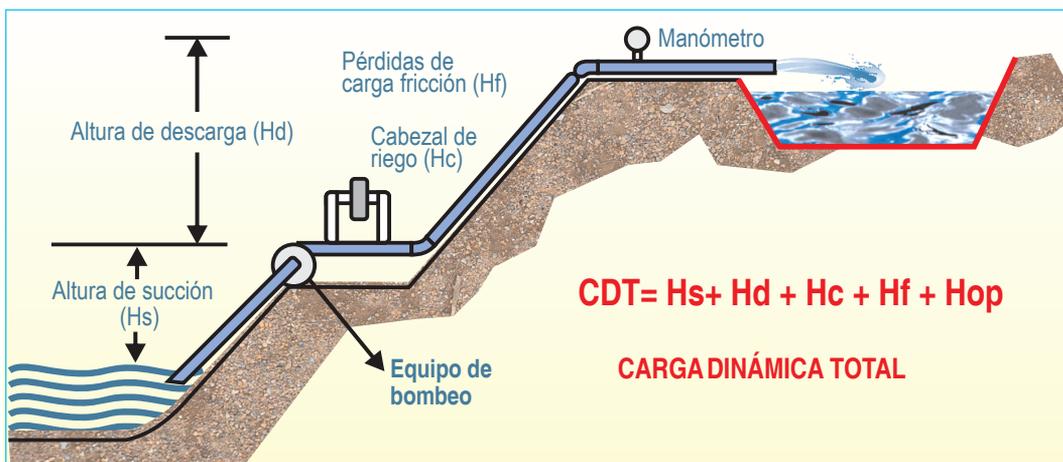


Figura 18. Componentes de Carga Dinámica Total solo con succión y descarga

Carga estática de descarga ( $hd$ ): corresponde a la distancia existente entre el eje de la bomba y el sector a regar.

Carga estática de succión ( $hs$ ): corresponde a la distancia existente entre el eje de la bomba y el espejo de agua.

Pérdidas de carga en el cabezal de riego ( $Hc$ ): corresponde a las pérdidas que ocurren en el cabezal de riego, especialmente causadas por sistema de filtración parcial o totalmente colmatado.

Pérdidas de carga por fricción ( $Hf$ ): corresponde a las pérdidas de carga del fluido en la tubería de descarga, obtenida por alguna de las ecuaciones de pérdida de carga.

Pérdidas de carga por fricción en la succión ( $Hfs$ ): corresponde a las pérdidas de carga del fluido en la tubería de succión. Obtenida por alguna de las ecuaciones de pérdida de carga.

Presión de operación del emisor de riego ( $hop$ ): corresponde a los requerimientos de operación del sistema de riego, incluye el cabezal de riego.

Pérdidas de carga por velocidad ( $v^2/2g$ ): corresponde a la energía cinética del agua dentro de la tubería y que depende de la velocidad. Muchas veces este valor se desprecia en las estimaciones de la CDT, por ser un valor bastante bajo.

La CDT de la unidad demostrativa y utilizada como ejemplo en el manual es lo que se presentó en la Tabla 9 anterior y que se resume en la siguiente tabla:

<b>Carga Dinámica Total</b>		<b>Sectores 1 al 5 m.c.a</b>
<b>Pérdida de carga</b>		
Pérdidas de carga matriz		0,58
Pérdida de carga terciaria		0,06
Pérdida de carga lateral		0,1
<b>Niveles geométricos, cabezal y emisor</b>		
Nivel dinámico agua m		1
Pérdidas de carga en el cabezal		8
Presión de operación del emisor		10
Desnivel		0,00
	<b>Total</b>	<b>19,74</b>
	<b>Caudal l/s</b>	<b>1,00</b>
	<b>Caudal l/min</b>	<b>60</b>

## 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS DE RIEGO

### 5.1. CAUDALÍMETROS

Dispositivo que permite medir volumen de agua y específicamente el consumo anual o por temporada de agua; estos contadores volumétricos permiten verificar si el consumo real se ajusta a lo programado. A la hora de valorar la temporada agrícola, es de utilidad llevar al día un cuaderno de riego, donde se anota de forma sistemática, toda la información relevante sobre el riego, donde se incluyen los consumos por períodos.

### 5.2. DISPOSITIVO DE INYECCIÓN DE FERTILIZANTES

Fertirrigar se entiende como la incorporación de las sustancias fertilizantes al suelo a través del agua de riego. Los dispositivos con los cuales se incorporan fertilizantes y productos químicos al sistema, se conocen con el nombre de inyectoras de fertilizantes.

La fertirrigación, especialmente en riego por goteo está condicionada a la zona del bulbo de humedecimiento, esencialmente donde se concentra la masa de raíces con el mayor potencial de absorción, por lo que es necesario realizar aplicación de fertilizantes en forma frecuente y en bajas cantidades por aplicación.

La fertilización a través del riego confiere una serie de ventajas, entre las cuales se mencionan las siguientes:

- Mayor eficiencia en la fertilización al inyectarse con el agua directamente en la zona de raíces.
- Evitar pérdidas por lixiviación, debido a los aportes más frecuentes con menor cantidad de agua.
- Mayor uniformidad en la aplicación de fertilizantes.
- Oportunidad en la aplicación, aplicaciones rápidas en momentos precisos.
- Ahorro de mano de obra.
- Menores costos de fertilización.

La inyección de fertilizantes consiste en introducir en una tubería por la que circula el agua de riego, el producto fertilizante, previamente disuelto en agua. Esto se consigue generando una mayor presión en la tubería de inyección en comparación con la tubería que recibe la solución fertilizante o de conducción. Esta se efectúa mediante unos dispositivos que se sitúan normalmente en el cabezal de riego, pudiendo también instalarse a la entrada de sectores de riego, cuando estos están muy dispersos o cuando existen diferentes cultivos. En

todos los casos debe instalarse un filtro de malla o anillas a continuación del inyector de fertilizantes para evitar el posible paso de impurezas contenidas en los fertilizantes.

Desde el punto de vista hidráulico, los inyectores pueden operar a través de diferencia de presión o succión, o bien a través del bombeo. En consecuencia, los distintos tipos de inyectores pueden agruparse en:

- Tanques fertilizantes
- Inyectores tipo Venturi
- Bomba inyectora

En el caso de la bomba de inyección, comúnmente utilizada en nuestro país, se basa principalmente en el uso de bombas centrífugas, con la particularidad que su estructura es de aluminio y el impulsor de Noryl (Plástico de alta densidad), todo ello con el fin de proteger dichas piezas de la corrosión que provocan las sales minerales.



**Figura 19. Bomba de impulsión y bomba inyectora de fertilizantes**

En la unidad demostrativa se utilizó bomba de inyección de fertilizantes dimensionada para superar en un 15% la presión operación de la bomba de impulsión con un caudal de inyección de entre 20 y 40 l/minuto. La presión adicional de operación que se le asigna a esta bomba, es con el objetivo de que el flujo con solución nutritiva impulsado por ella rompa la columna de agua del flujo proveniente desde la bomba de impulsión en el punto de encuentro de ambos flujos. Las bombas para fertirriego, deben contar con carcasa de acero inoxidable e idealmente el impulsor de Noryl (Polietileno especial de alta densidad), con ello se protege los materiales de daños de corrosión causado por las sales minerales y ácidos que se utilizan normalmente en fertirriego.

## CURVAS Y DATOS DE PRESENTACIÓN

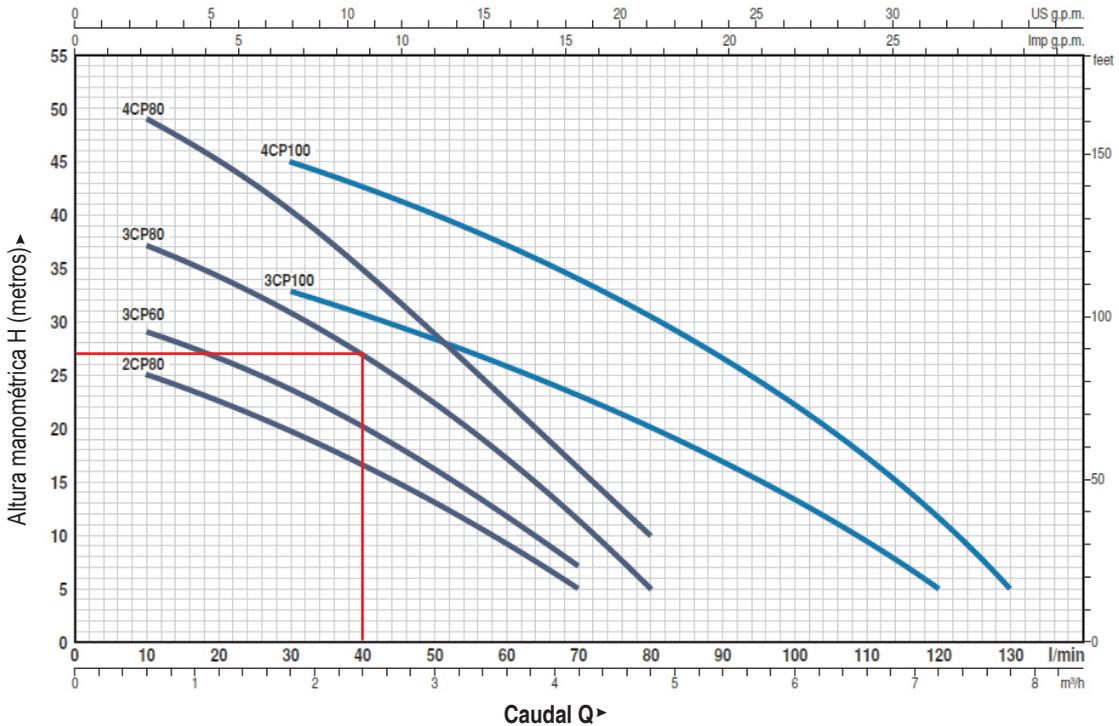
50 Hz  $n = 2900^{-1}$  HS= 0 m

Figura 20. Curva característica bomba inyectora de fertilizantes Unidad Demostrativa

### 5.3. ESTANQUES UTILIZADOS EN LA UNIDAD DEMOSTRATIVA

Existen 2 aplicaciones de uso en estanques de acumulación de agua en sistemas de pequeños productores, uno de ellos es el de mezcla de fertilizantes, que debe ser plástico, cuyo volumen total está en función de la dosis de fertilizante diaria en el período de máxima demanda de nutrientes de parte del cultivo, y que está asociado a sus etapas fenológicas. La otra consideración a tener y que es complementaria con la anterior, es el grado de solubilidad del tipo fertilizante que se use en mayor proporción en la dosis diaria; con ambos parámetros se define el volumen mínimo de agua para preparar la solución madre y, en otras palabras, el volumen del estanque de mezcla. Un segundo estanque comúnmente utilizado, es el de almacenamiento de agua, especialmente cuando las fuentes de agua en el predio son de bajo caudal, o cuando el agricultor enfrenta régimen de turnos de riego. Para ello se debe establecer el caudal de la fuente, que se compra con la demanda de agua diaria y el período que se requiere acumular, 1 o más días dependiendo del tipo de turno. En el caso de nuestro ejemplo, el predio cuenta con una sola fuente de agua y un equipo de bombeo para varios usos,

riego agrícola, riego áreas verdes, agua para consumo doméstico, entre otros. Dado lo anterior, la estrategia es independizarse de la bomba ubicada en la fuente de agua, y para ello se instaló un estanque de 6.000 litros que se llena en 20 minutos aproximadamente, y desde ahí mediante la bomba de impulsión en el cabezal de riego, se destina el uso de acuerdo al programa de riego establecido. Con respecto al estanque de fertilizantes, dado la superficie de los sectores se instaló un estanque plástico de 200 litros de capacidad. (Ver Figuras 21 y 22).



Figura 21. Estanque de mezcla de fertilizantes y estanque acumulador de agua

#### 5.4. FITTINGS DE CONEXIÓN (VÁLVULAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS)

Son los sistemas o conjuntos de piezas utilizadas para la unión de tubos entre sí o estos con las demás piezas de conducción. Tendrán, como mínimo, las mismas características de resistencia a las presiones hidráulicas interiores que las tuberías que unen.



Figura 22. Unión americana de PVC

#### Unión para tubería de PVC

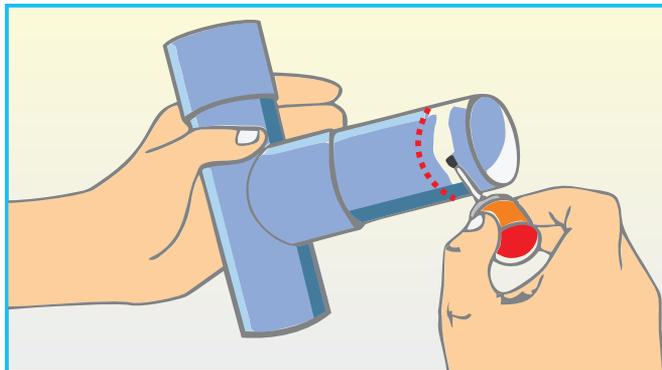
Existen dos sistemas para asegurar la estanqueidad y la resistencia mecánica en los acoplamientos de las tuberías entre si y con las piezas especiales; la unión con pegamento y la unión mediante anillos de goma o unión Anger.

Cualquiera que sea el tipo de unión que se adopte, deberá verificarse que en las pruebas de rotura a presión, las tuberías deberán romper antes que la junta.

**Unión con pegamento:** Este tipo de junta exige que uno de los extremos de la tubería termine en una copa preformada en fábrica, cuya longitud y diámetro interior deben cumplir valores mínimos.

La unión con pegamento se realizará entre la superficie exterior del extremo macho y la interior de la copa, utilizando un adhesivo disolvente del PVC no plastificado, de modo que se consiga una auténtica soldadura en frío.

Este tipo de unión se utilizará preferentemente para la unión de tuberías con las piezas especiales; no se admite para la unión de tuberías con diámetro sobre 150 mm.



**Figura 23. Unión americana de PVC**

**Unión elástica:** este sistema de unión garantiza, en general, una estanqueidad más eficaz que la con pegamento, y permite un ligero juego en las uniones de la conducción, que permite absorber variaciones de trazado de una cierta amplitud. Por otra parte, las uniones son más sencillas y rápidas de realizar que por la unión por pegamento.

Este tipo de unión exige que uno de los extremos de la tubería sea expandido y moldeado en fábrica, con una hendidura en su interior, en la cual se aloja un anillo elastomérico, de tal manera que este forme parte intrínseca de la tubería. El extremo macho de la tubería debe ir biselado con un ángulo, pero que solamente afecte a la mitad de la pared de la tubería.



**Figura 24. Método de unión de tuberías mediante acople con anillo Anger**

La copa deberá estar reforzada para compensar el debilitamiento que se produce en la pared de la tubería por la hendidura donde va alojado el anillo elastomérico.

El anillo es fabricado con un elastómero compuesto de caucho natural o sintético y diseñado de tal forma, que produzca un cierre hidráulico trabajando a compresión y que el cierre sea más hermético cuanto mayor sea la presión, dentro de los límites de su gama de presiones. Este tipo de unión se utiliza en conducciones subterráneas de conducciones a presión.

### **Uniones para tubería de PE**

Cualquiera que sea el tipo de unión utilizada producirá una pérdida de carga máxima equivalente a 3 m de tubería de igual diámetro. Debe soportar la corrosión y las influencias climáticas; es importante mencionar que en las tuberías de PE el roscado y unión con pegamento no es admisible. Las más utilizadas en instalaciones de riego son las uniones mecánicas.

De las uniones mecánicas existen las del tipo Racor o conector de PE, que fijan los extremos mediante un conector interior de perfil bicónico que se solidariza a la tubería mediante una tuerca de presión, apretando el extremo de la tubería contra el conector.



**Figura 25. Unión tipo Racor en PE**

Otros modelos, consisten en simples conectores de plástico que se colocan en el interior de las tuberías. La fijación de la tubería al conector se logra gracias a rebordes en forma de “espina de pescado”. En el caso del conector interior, a veces se refuerza la unión apretando ambos extremos de la tubería con abrazaderas.



Figura 26. Conectores de polietileno

Dadas las bajas presiones a las que están sometidos estas uniones en los sectores de riego, generalmente inferiores a 20 m.c.a., se han desarrollado una variada gama de modelos simples para conexión de tubos de PE de pequeño diámetro, menores de 20 mm.

### Piezas especiales

Se denominan piezas especiales a aquellos elementos que se intercalan en la conducción para permitir realizar cambios de dirección, derivaciones, reducciones, etc. Entre ellos están muchos de uso familiar y común, entre ellos, están los codos, las tees, las reducciones, las coplas, los tapones, etc.



Figura 27. Piezas especiales

Existe un elemento menos común de derivación denominado collarín, esta pieza se utiliza para conectar a la línea lateral con la tubería terciaria. Si esta tubería terciaria es de PE flexible, el collarín se instala perforándola e introduciendo en el hueco el extremo del enlace que va en ese lugar y el otro en la línea lateral.



**Figura 28. Collarín PVC**

Si la tubería terciaria es de PVC o PE rígido, la instalación es menos sencilla pues la unión directa con el collarín no se estanca y se hace necesario utilizar un anillo de goma. Existe una solución adicional en la instalación de laterales en la tubería terciaria y corresponde, a un conector de polietileno con un anillo de goma o gromit, para su instalación se procede a perforar la tubería terciaria de PVC con el diámetro equivalente del anillo de goma, este se inserta en el orificio y posteriormente se introduce el conector de polietileno. En el otro extremo del conector se pone un tramo de PE flexible que hace las veces de puente (“Chicote”) entre la terciaria que está enterrada y el lateral que va en superficie.



**Figura 29. Gromit y goma**

Otro elemento a mencionar es el tapón final, ya que se han desarrollado una serie de tipos de cierre al final de las tuberías laterales. Se trata en general de conectores interiores cerrados que se introducen a presión. Una solución muy común para el cierre de laterales de PE, es la realización de un simple doblez en la tubería de PE manteniendo plagado mediante un anillo de PE cortado de un tubo de mayor diámetro, o varios dobleces, si se trata de tubería muy fina como la cinta de riego.



**Figura 30. Tapón final tubería lateral**

## 6. PLANO DE TECNIFICACIÓN

El plano es la referencia más importante para la ejecución de la obra, y también en el proceso de diseño, especialmente por la existencia de desniveles en el terreno y además por el arreglo de la red de tuberías y sectores de riego. Existe una normativa básica que es conveniente siempre seguir en la confección de planos de riego. El plano de disposición general de obras, topográfico y de detalle deberá comprender la totalidad del área de riego beneficiada por el proyecto, indicándose la ubicación de las obras y la red de riego actual y futura, los deslindes de los predios beneficiados y de los predios sirvientes de estar comprometidas servidumbres de cualquier tipo relacionadas con las aguas del proyecto, etc.

Los planos se deben presentar cumpliendo las siguientes características:

- Impresión original en color.
- Textos en tamaño legible, acorde a la escala del plano.
- Identificación en tuberías de diámetro, longitud y clase; identificando claramente los tramos y cambios de diámetros.
- Delimitar claramente los sectores, bloques o unidades de riego.
- Ubicación e identificación de los distintos tipos de válvulas considerados en el proyecto.
- Identificación y ubicación de nodos, acorde al diseño hidráulico.
- Dibujar a lo menos, un lateral por sector de riego, indicando su orientación.
- Señalar orientación de la plantación.
- Ubicación de cabezal de control.
- Señalar simbología utilizada.
- Presentar en un solo plano, topografía y diseño.
- No incluir en el plano las estaciones de la poligonal.
- Curvas de nivel acotadas, a equidistancia de a lo menos 1 m. Si la pendiente del terreno es muy baja se podrá presentar con equidistancias de 0,5 m o menos.
- Presentar en el mismo plano el cuadro 1 resumen del diseño hidráulico y agronómico.
- Señalar norte.
- En el caso de presentar coordenadas geográficas, indicarlas fuera del área de trabajo.
- Escalas de acuerdo a la siguiente tabla en el caso de los planos físicos.

**Tabla 11: Escalas del plano según superficie física en hectárea**

Superficie (hás)	Escala
1 a 3	1:500
3 a 20	1:1000
20 a 40	1:2000
Más de 40	1:2500

Fuente: CNR

Si el predio es demasiado irregular, alargado o ladera; presentar plano a escala legible. El plano de diseño, debe contener la información suficiente que permita la cubicación, instalación o construcción de las obras. Todos los planos físicos de las obras proyectadas deberán estar firmados por el profesional responsable del proyecto y deberán incluirlos dentro de sobres plásticos, con formato y normativo para presentar a la Ley de Fomento al Riego N° 18.450.

## 7. PRESUPUESTO

El presupuesto de las obras de tecnificación está compuesto de: presupuestos detallados o cubicaciones, cotizaciones, facturas y/o análisis de precios unitarios, presupuesto general.

Las cubicaciones de los elementos y equipos de riego, como de las obras complementarias (casetas para el resguardo del centro de control de riego, excavaciones, estanques, etc.) deben corresponder a lo indicado en los respectivos planos, la descripción y características de las obras. Las cubicaciones de los elementos y equipos de riego se deben incluir en el presupuesto detallado. Con la cubicación es posible iniciar el proceso de cotización y precios, los precios unitarios de elementos, equipos y máquinas de riego, siempre es bueno contar con la cotización del proveedor. Recuerde en su presupuesto incluir gastos generales, imprevistos. Con toda dicha información se construye un presupuesto detallado.

En el presupuesto detallado es importante incluir las especificaciones técnicas de los elementos y equipos de riego. En el caso de los emisores y líneas con emisores integrados es bueno señalar, además, el espaciamiento y caudal de los emisores y diámetro y espesor de la tubería de polietileno. Respecto a los equipos de bombeo es conveniente señalar, además, potencia del motor. A continuación se presenta formato presupuesto.

CANT.	COMPONENTES DEL SISTEMA	
	<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>2.300.000</b>
4	PANEL FOTOVOLTAICO 265 Wp CERTIFICACIÓN SEC DIMENSIONES (1,6 M X 1 M)	
1	SISTEMA ESTRUCTURA PARA MONTAJE COPLANAR CON RIELES DE ALUMINIO (ALUSIN, MODELO GULP (YURI)	
1	INVERSOR VARIADOR DE FRECUENCIA	
1	TABLERO CON PROTECCIONES ELÉCTRICAS	
1	SISTEMA FOTOVOLTAICO PUESTO A TIERRA CON BARRA COOPER DE 3 MTS Y CÁMARA DE REGISTRO, CONDUCTORES Y CANALIZACIONES ACORDE NORMA SEC, ROTULADOS Y SEÑALÉTICA	
1	RIESGO ELÉCTRICO	
	<b>ESTANQUE ACUMULACIÓN DE AGUA PARA RIEGO</b> .....	<b>600.000</b>
1	ESTANQUE ACUMULACIÓN DE AGUA PARA RIEGO	
	<b>CASETA DE RIEGO</b> .....	<b>600.000</b>
1	CASETA DE REGADÍO DE 5 M X 2,5 M REFORZADA PARA MONTAJE DE MODULOS FOTOVOLTAICOS	
1	RADIER PARA CASETA DE RIEGO 5 MX 2,5 M X 0,2 M GRAVILLA (INCLUYE MANO DE OBRA)	
	<b>SISTEMA DE RIEGO</b> .....	<b>2.300.000</b>
1	BOMBA PEDROLLO 130 Cpm (0,5 HP)	
7.330	BOMBA PEDROLLO 4 CRm 80 (0,85 HP)	
244	CINTA DE RIEGO GOTEROS A 20 CM CAUDAL 1 L/H ESPESOR 6 MM, EN METROS	
1	POLIETILENO 16 MM, EN METROS	
1	FILTRO DE ANILLAS AZUD AG, FILTRADO 130 MICRONES, 2"	
1	ESTANQUE PLÁSTICO 200 LITROS SISTEMA FERTIRRIEGO	
1	PROGRAMADOR RAINBIRD 12 ESTACIONES	
1	PUESTA A TIERRA BARRA COOPER CON CÁMARA DE REGISTRO, TUBERIAS, VALVULAS, FITTINGS Y ACCESORIOS, ACORDE A DOCUMENTO DISEÑO UNIDAD DEMOSTRATIVA	
	<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y EJECUCIÓN OBRA DE SISTEMA DE RIEGO</b> .....	<b>700.000</b>
1	TABLERO ELÉCTRICO DISEÑO CON PROTECCIONES PARA BOMBAS IMPULSIÓN Y FERTIRRIEGO (NORMA SEC)	
1	CONDUCTORES Y CANALIZACIONES (NORMA SEC)	
	<b>TOTAL DE EQUIPOS, MATERIALES Y MANO DE OBRA</b>	<b>6.500.000</b>

## 8. ASPECTOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SISTEMA

Para que un sistema de riego trabaje eficientemente, el agua debe aplicarse en forma uniforme, así todas las plantas recibirán aproximadamente la misma cantidad de agua y fertilizantes. Si el riego no es uniforme, algunas zonas recibirán más agua, de la necesaria y se perderá por percolación profunda, otras plantas recibirán menos y eso afectará negativamente la productividad de esa planta. La uniformidad cobra mayor importancia cuando se trata de aplicar fertilizantes. La interacción agua fertilizante puede alterar enormemente la producción de un árbol frutal, o la productividad por unidad de superficie en hortalizas.

### 8.1. UNIFORMIDAD DE CAUDALES

La uniformidad de aplicación del agua es afectada por los siguientes factores:

- Presión del trabajo: La presión no es igual en todos los puntos del sistema.
- Propiedades hidráulicas del emisor: Las propiedades hidráulicas están en función del diseño, de la calidad del producto y temperatura del agua.
- Mantenimiento preventivo del sistema: Sistemas con una deficiente mantención presentan baja uniformidad de descarga. También aquellos que mezclan diferentes tipos de emisores en un sector de riego.
- El efecto del viento, cuando se usen microaspersores y difusores.

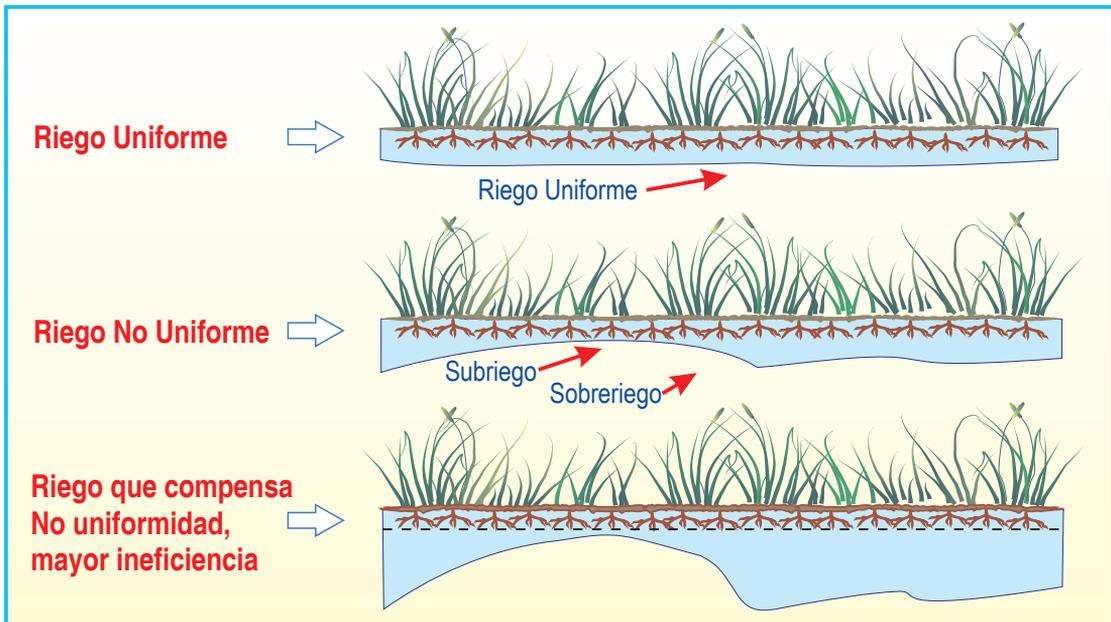
El grado en que cada uno de estos factores puede afectar la uniformidad de riego ha sido establecido, en orden de mayor a menor importancia:

1. Obturaciones
2. Número de emisores de los que recibe agua cada planta
3. Exponente de descarga del emisor
4. Sensibilidad del emisor a la temperatura
5. Variaciones de presión
6. Coeficiente de variación de fabricación de los reguladores de presión
7. Relación entre la pérdida de carga que se produce en la terciaria y lateral

## 8.2. NÚMERO DE DIFERENTES DIÁMETROS QUE COMPONEN LA TERCIARIA

Es necesario mencionar que este orden no es absoluto, dependiendo del rango de los valores asociado a cada uno de los parámetros, pero es, en general, aplicable para sus valores medios. La uniformidad aumenta cuando lo hace el número de emisores de los que recibe agua cada planta. También se incrementa cuando disminuyen los restantes factores. Es prácticamente independiente de los dos últimos factores de la lista.

La falta de uniformidad de distribución llevará consigo un aumento de la cantidad de agua recibida por cada planta, ya que, para que aquellas que reciben menos reciban lo que requieren, deberá aumentarse la dosis de riego y gran parte del resto de las plantas recibirán un exceso de agua que se perderá.



**Figura 31. Uniformidad de riego**

La evaluación de las variaciones de presión en la red de tuberías, de las propiedades hidráulicas del emisor y las normas básicas de mantención y operación, contribuirá a identificar las causas que producen la baja uniformidad de aplicación y de las correcciones necesarias para mejorar la uniformidad. No todos los emisores presentan el mismo caudal a una presión de trabajo predeterminada. Por pequeñas diferencias en el proceso de fabricación, el caudal promedio de los emisores es de acuerdo a una curva característica de descarga, más una pequeña variación que puede ser positiva o negativa.

Los fabricantes de emisores proporcionan información acerca del coeficiente de variabilidad de descarga o casual ( $C_v$ ) de sus productos. Mientras menor es el valor de  $C_v$ , mejor es su calidad. En la Tabla 12 se presentan los valores que permiten clasificar el tipo de emisor de acuerdo al coeficiente.

**Tabla 12. Clasificación de calidad de emisores en función del coeficiente  $C_v$ .**

Tipo de emisor	Coeficiente de Variación	Clasificación
Goteros	< 0,05	Excelente
Microaspersores	0,05-0,07	Aceptable
Microjets	0,07-0,11	Marginal
	0,11-0,15	Pobre
	> 0,15	Inaceptable
Cinta(*)	< 0,10	Buena
	0,10 - 0,20	Aceptable
	> 0,20	Marginal o inaceptable

(\*) En cintas de riego, la descarga se mide en l/hora/metro de cinta

**Fuente: Elaboración propia a partir de Pizarro F. 1990**

En general, los coeficientes  $C_v$  son menores a 0,04 para muchos tipos de emisores. Cuando el sistema es nuevo, las variaciones de caudal entre emisores no deben superar el rango de +/- 5 % dentro de un sector, para obtener altos índices de uniformidad. En la medida que transcurre el tiempo, ocurren taponamientos, desgaste del material, mezcla de distintos tipos de emisores que afectan el buen rendimiento del sistema. Para determinar la uniformidad de descarga del equipo, debe medirse en terreno caudales de emisores y presiones en las laterales.

### 8.3. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CUC)

Existe un índice que permite evaluar la uniformidad de riego y se conoce como el Coeficiente de Uniformidad de Caudales, CUC y es una relación matemática que indica la variación de cantidades de agua recibida por el cultivo. Las variaciones son atribuidas a variabilidad de descarga de los emisores, variabilidad de presión dentro de la red, taponamiento por residuos orgánicos, presencia de material fino en las laterales y utilización de diferentes tipos de emisores dentro de un sector de riego.



**Figura 32. Goteo**

Es imposible pretender que todas las plantas reciban exactamente la misma cantidad de agua, pero sí es necesario poner ciertos límites a dicha variabilidad, con el objetivo de obtener buenos rendimientos y calidad de productos con un mínimo de agua y fertilizantes.

El coeficiente de uniformidad de caudales se expresa como lo indica la siguiente ecuación:

$$CUC = 100 * \left( \frac{q_{25\%x}}{q_x} \right)$$

Donde:

CUC : Coeficiente de uniformidad de caudales (%)

$q_x$  : Caudal promedio de todas las observaciones (l/hora)

$q_{25\%x}$  : Caudal promedio, del 25% más bajo de todas las observaciones (l/hora)

En la tabla siguiente se indica la clasificación del coeficiente de uniformidad que se utiliza como referencia en el momento de la evolución del equipo.

**Tabla 13. Clasificación del Coeficiente de Uniformidad (CUC)**

**(Fuente: ASAE Standards 1988)**

Clasificación	Coeficiente de Uniformidad (CU) %
Excelente	100-95
Buena	95-85
Regular	85-75
Pobre	75-60
Inaceptable	< 60

## Medición de caudales en emisores

Para conocer el valor de CUC dentro de un sector de riego que se define como el área regada controlada por un dispositivo de control (válvula o regulador de presión), es necesario medir los caudales de los emisores. Para lograr determinar el caudal promedio y la variación de descarga con precisión, se debe seleccionar una muestra de 32 emisores uniformemente repartidos dentro del sector de riego.

Un criterio utilizado para seleccionar los emisores a evaluar es dividir el sector en 16 cuadrantes conformados por 4 filas y 4 columnas. Para proceder a determinar los límites de cada cuadrante se procede a dividir el largo y el ancho del sector por cuatro. El área comprendida por la intersección de una columna con una fila corresponde a un cuadrante. Dentro de cada cuadrante se seleccionan dos emisores al azar, a los cuales se mide su caudal.

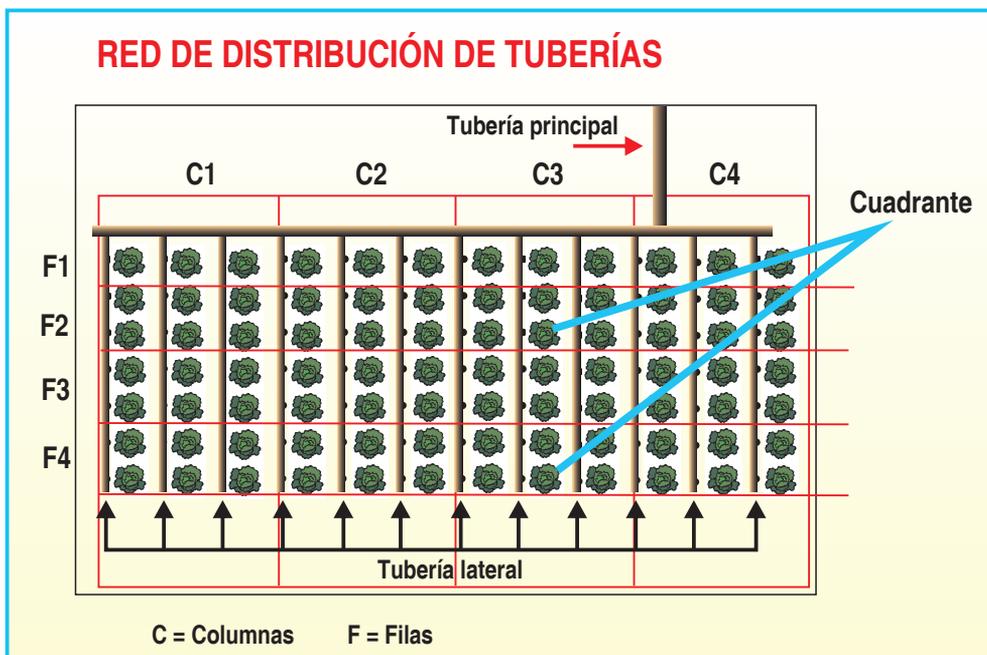


Figura 33. Selección de emisores para evaluación de coeficiente de uniformidad de caudales

Los caudales deben medirse en terreno utilizando un vaso de 250 cc, una probeta de 100 cc y un reloj con segundero. Se procede a medir el caudal del emisor recolectando el agua en el vaso por 1 minuto. El volumen se traspasa a la probeta para medir el volumen. Al multiplicar el volumen de agua por el factor 0,06 se obtiene el caudal expresado en litros/hora.

Es conveniente utilizar 1 minuto como tiempo de medición, ya que disminuye notablemente el posible error en el inicio y termino de la medición del tiempo. En caso de utilizar cronómetros, el tiempo de recolección puede disminuirse a la mitad.



Figura 34. Aforo de emisor de riego

### Uniformidad de presiones

Al igual que la uniformidad de caudales en los sectores de riego, se espera tener uniformidad de presiones. Existe una relación directa entre el caudal de un emisor y su presión de operación, por lo tanto, es clave conocer si efectivamente la presión de cada emisor en la red está dentro de un rango de variación aceptable. Para tal efecto, se puede evaluar a través de un índice denominado coeficiente de uniformidad de presiones CUP. Para determinar dicho índice es necesario evaluar la presión de una muestra de emisores en el sector de riego escogido. La selección de emisores se realiza con la misma metodología utilizada para realizar la evaluación de presiones. Es necesario contar con los dispositivos y conectores necesarios de acuerdo al tipo de emisor para realizar la medición de la presión.



Figura 35. Elementos de medición de presión en goteros

La presión se evalúa mediante el manómetro, instalando éste en la cola del lateral destrabando este e insertando el manómetro, y al inicio del lateral a la salida del

“chicote de riego”, que es el que permite la conexión entre la terciaria y el lateral, La sonda Racor (pieza de bronce en la figura) se instala introduciendo la punta en el orificio de salida de los microaspersores.

El CUP se calcula utilizando la siguiente relación:

$$CUP = 100 * \left[ \frac{P_{25\%}}{P_x} \right]^y$$

Donde:

CUP: Coeficiente de Uniformidad de Presiones, en %.

$P_{25\%}$ : Promedio de presión del 25% de los valores más bajos registrados, en bar.

$P_x$ : Presión media de todos los emisores evaluados, en bar

y: Coeficiente de descarga del emisor, dato aportado por el fabricante y que aparece en el catálogo del emisor, sin dimensiones.

El coeficiente de descarga refleja las características de comportamiento del emisor según su diseño de fabricación, cada marca y modelo tiene su propio coeficiente. Coeficientes mayores a 0,5 el caudal del emisor son muy sensibles a las variaciones de presión en la red, en cambio con valores bajo 0,5 los cambios de presión influyen menos en el caudal del emisor tendiendo a mantenerse constante. En este caso luego de la evaluación se compara el resultado con el rango de coeficiente de uniformidad de la Tabla 12 y se aplica dicha clasificación para determinar la calidad de uniformidad de presiones en el sector de riego.

#### 8.4. TIPO Y LAVADO DE FILTROS

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego tecnificado, y en particular las de goteo, es el de las obturaciones. En este tipo de sistemas el agua circula por pequeños orificios. Estos, al obstruirse, alteran la sección o área conductora de agua, reduciendo el caudal de descarga. El nuevo caudal dependerá del grado de obstrucción del emisor y que puede ser parcial o total. Un alto grado de obstrucción en los emisores provocará una distribución no uniforme del agua. Sectores con una menor tasa de aplicación presentarán problemas de crecimiento vegetativo, vigor, calibre de

fruta y producción, debido a la menor aplicación de agua y fertilizantes en la temporada.

Para minimizar el riesgo de taponamiento, se debe disponer de sistemas de filtrado que mejoren la calidad física del agua. Estos sistemas deben ser diseñados en forma cuidadosa y operados en forma apropiada para mantener, permanentemente, el buen rendimiento de todo el sistema de riego.

### Filtros de arena o grava

Consisten en tanques generalmente metálicos (de acero galvanizado, inoxidable o con pintura antioxidante) o de plástico reforzado (poliéster con fibra de vidrio o poliéster laminado) capaces de resistir las presiones estáticas y dinámicas de la red, rellenos de arena o grava tamizada de un determinado tamaño.

Estos dispositivos consisten generalmente en dos o más estanques conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. En el modo «filtración» todos los estanques trabajan en paralelo. El agua ingresa al estanque por arriba, pasa a través de la grava, que actúa como medio filtrante y es colectada agua limpia en el fondo.

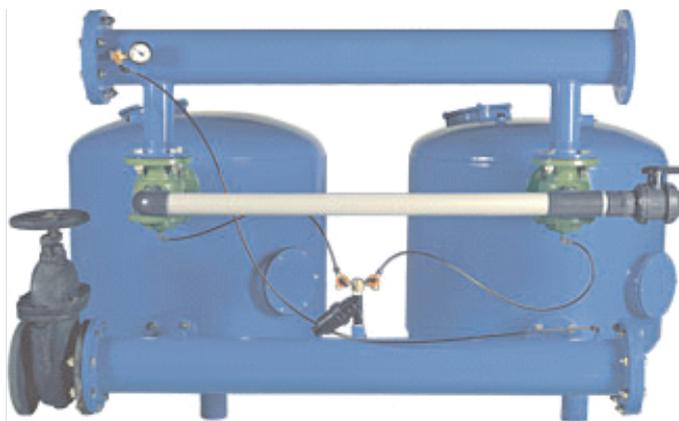


Figura 36. Filtro de grava de dos unidades

En el caso de la unidad demostrativa utilizada en nuestro ejemplo, se seleccionó un filtro de anillas de 1 ½" de diámetro en los puntos de conexión a la red. Por él pasa un caudal máximo de hasta 14 m<sup>3</sup>/hora, una superficie filtrante de 310 cm<sup>2</sup> y una malla de 80 micrones. Todos criterios de selección que se ajustan a las características del

sistema, en la unidad demostrativa de acuerdo al caudal disponible y los requerimientos de riego no se superaran caudales de 8 m<sup>3</sup>/hora. Respecto a la selección del mallaje del filtro, el tamaño de orificio del filtro debe ser 1/10 como máximo del tamaño del orificio de salida del gotero, en nuestro caso el gotero tiene diámetro de salida de 1 mm, por lo tanto, el orificio del filtro debe ser menor a 0,1 mm o 100 micrones, el filtro seleccionado posee un mallaje de 80 micrones.

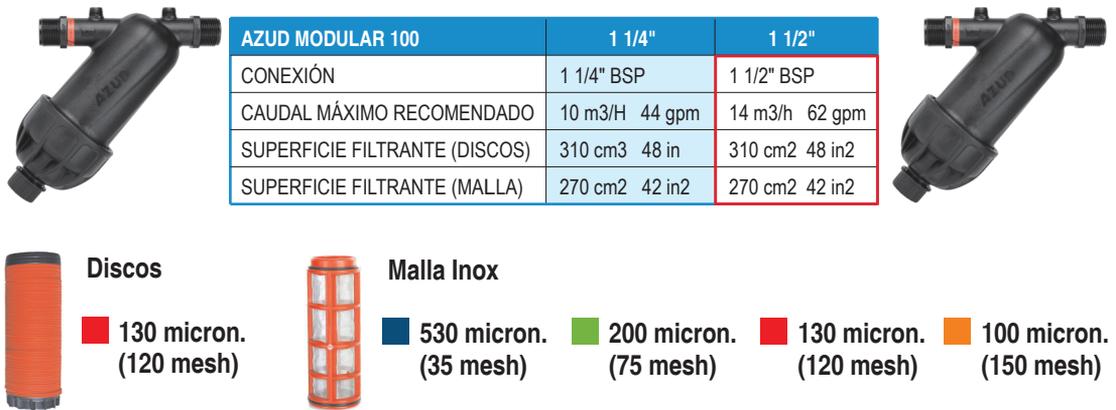


Figura 37. Grados de filtrado

El disco es un anillo plano, ranurado por ambas caras y fabricado en material plástico. Los distintos modelos de discos del mercado se diferencian entre sí por los materiales empleados en su fabricación, su geometría y dimensiones, así como por las características de sus canales ranurados.

Una vez que los discos están apilados, la dirección de los canales de la cara superior de cada disco siempre irá en sentido contrario a la dirección de los canales de la cara inferior del disco contiguo. Dicha orientación de los canales genera numerosos puntos de intersección a lo largo de la trayectoria del agua en el interior del conjunto de discos, determinando, de esta forma, el nivel de retención de partículas.

### Instalación y limpieza

Estos filtros se limpian invirtiendo el sentido del flujo, lo que se conoce como “retrolavado”. Durante esta operación el agua, que previamente ha pasado por uno o más filtros, es utilizada para lavar el estanque que está en proceso de retrolavado. En sistemas de filtros con un solo estanque, el retrolavado se efectúa utilizando agua sin filtrar mediante la manipulación de un conjunto de válvulas que permiten invertir el flujo.

Un caudal excesivo de retrolavado produce una expansión en volumen de la grava, hasta un punto que se produce un arrastre de material fuera del filtro. Por otro lado, un caudal pequeño no expandirá la grava lo suficiente como para permitir el arrastre de las impurezas y lavado de la grava. Esto produce un sellamiento de la grava y por consiguiente un aumento de la pérdida de presión nominal del sistema de filtros.

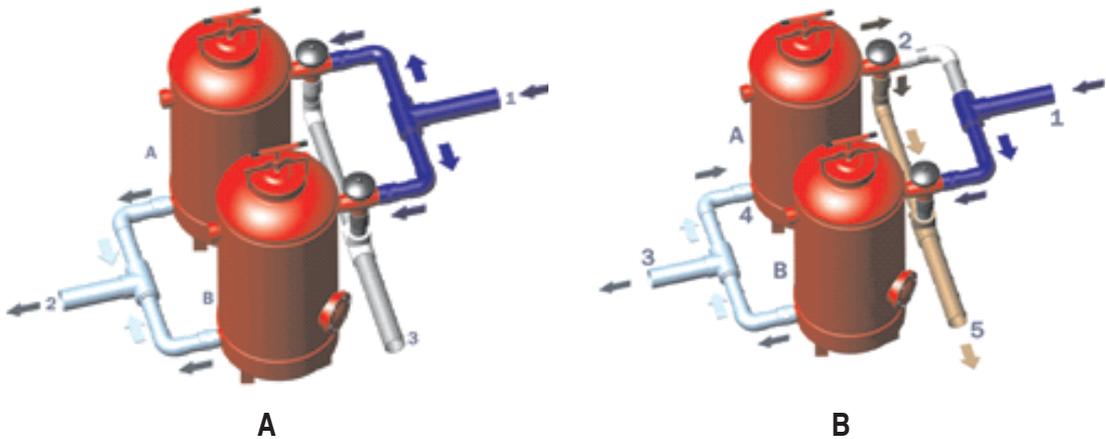


Figura 38. Filtros en paralelo durante filtrado (A) y el «retrolavado» (B)

La frecuencia de retrolavado es función de la calidad del agua. Si esta posee un alto nivel de sólidos en suspensión, los filtros se saturan en menor tiempo, elevando la pérdida de carga del filtro y disminuyendo la presión disponible en las laterales. Los filtros se deben lavar tan pronto como la pérdida de presión haya alcanzado el umbral máximo de diseño (6 o 7 m.c.a.). Lavar los filtros en forma frecuente, sin esperar que la pérdida de presión debido a las impurezas haya alcanzado su valor máximo, no mejora la calidad del proceso, solo aumentará el volumen de agua utilizado en el retrolavado.

### Filtro de malla

Consta de una carcasa, generalmente metálica de forma cilíndrica, que aloja en su interior el elemento filtrante. Esta está compuesta por un soporte perforado metálico o plástico, recubierta por una malla. En algunos casos, el elemento filtrante es doble, empleándose como soporte dos cilindros concéntricos. La malla puede ser de Nylon, o más corrientemente, de acero inoxidable. A diferencia de los filtros de grava que trabajan en profundidad, estos filtros lo hacen en superficie, por lo que se colmatan con mayor rapidez. Suelen situarse en el cabezal de riego, inmediatamente después de la inyección de fertilizantes.



**Figura 39. Filtro de malla**

En el caso de filtros tradicionales no automáticos, es necesario detener el funcionamiento del sistema para su limpieza. Este tiempo debe ser considerado en el plan general de manejo del equipo. Dependiendo del tipo de filtros, el tiempo de limpieza puede ser entre 2 a 10 minutos. Este tipo de filtros son muy simples y consisten en dos tubos concéntricos. El exterior es metálico o plástico y constituye el cuerpo de la unidad. El tubo interior es de PVC perforado o una estructura de acero rígida cuya finalidad es sostener el elemento filtrante (malla). La instalación de la malla debe ser cuidadosa para evitar daño mecánico de ésta (rotura), y evitar que sea arrastrada hacia el sistema de riego. El elemento filtrante (malla) debe ser limpiado con agua y una escobilla suave. La materia orgánica se incrusta en la malla y no sale con facilidad, por lo que se requiere de un detergente. En todo centro de control deben estar presente estos elementos para una buena limpieza de la malla.

Cuando la limpieza de los filtros se debe efectuar más de dos veces por día, es necesario tomar algunas medidas para disminuir el tiempo de detención del equipo. Algunas medidas son:

- Construir un desarenador para eliminar partículas del tamaño de arena fina o superior.
- Instalar un hidrociclón previo a la entrada del agua a los filtros.
- Aumentar el área filtrante del sistema. Esto se consigue colocando más unidades en paralelo. Reemplazar los filtros tradicionales por modelos autolimpiantes.
- Mantener limpio (libre de vegetación acuática) el estanque acumulador. La vegetación genera partículas orgánicas de pequeño diámetro que obstruyen fácilmente los filtros.

Una situación muy frecuente, que dificulta el manejo de los filtros de malla, ocurre cuando la captación de agua en el estanque acumulador se encuentra muy cerca del fondo. La velocidad de flujo en las cercanías de la captación es suficientemente alta como para arrastrar partículas depositadas en el fondo. El agua, en principio con baja cantidad de sólidos en suspensión adquiere un aspecto de turbidez. La solución a este problema es instalar un codo, para aumentar la distancia entre la captación y el fondo del estanque, o colocar una manguera flexible amarrada a un flotador o boya.

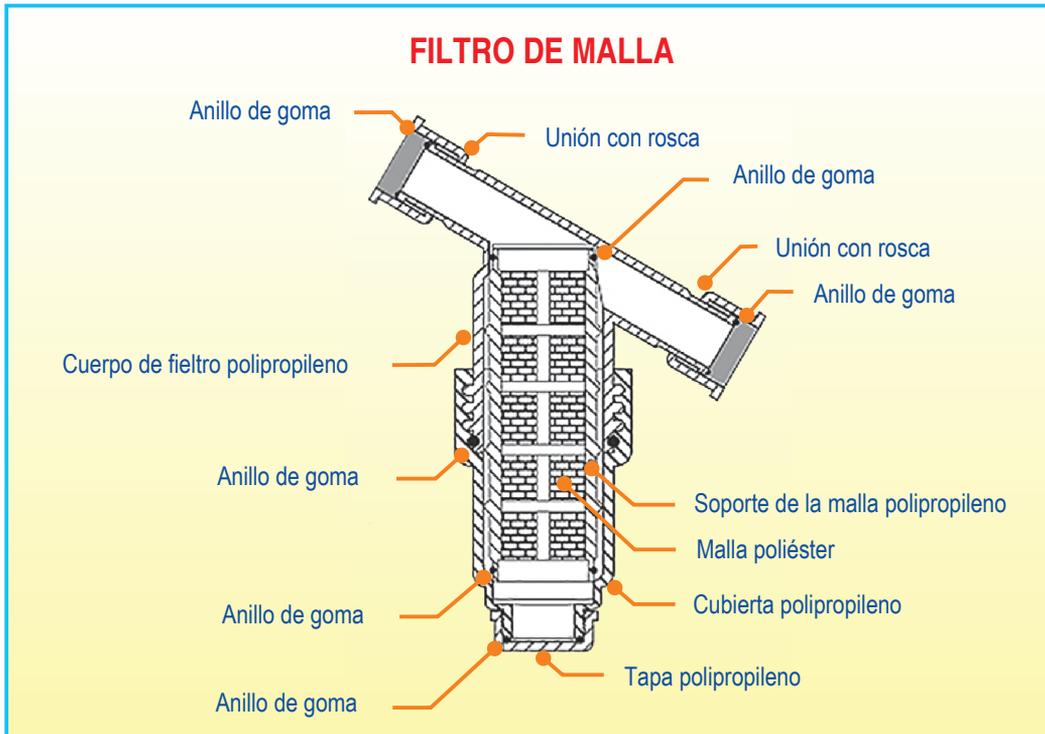


Figura 40. Filtro de Malla

### Filtros de anilla

Tienen forma cilíndrica y van situados entre líneas, en posición horizontal. El elemento filtrante lo componen un conjunto de anillas con ranuras impresas, que se ubican sobre un soporte central cilíndrico y perforado. El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillas consecutivas. La calidad del filtrado dependerá del espesor de las ranuras. Dependiendo del número de ranuras de cada disco es la calidad del filtrado. Hay filtros de anillas equivalentes a mallas de 40, 80, 120, 140, 200 y 600. La forma de las ranuras no es uniforme, por lo tanto, los pequeños canales que se forman tienen diferentes secciones y tamaños, entonces su efecto es en cierta medida,

de filtrado en profundidad, como en el caso de los filtros de grava, por lo que frecuentemente sustituyen a éstos. La profundidad de filtrado corresponde al radio de las anillas. Son muy compactos y resistentes soportando presiones de trabajo de hasta 10 bar. Al igual que los filtros de grava, puede retener gran cantidad de sólidos antes de quedar obturado. Las pérdidas de carga con el filtro limpio oscilan entre 1 y 3 m.c.a.



**Figura 41. Filtro de anillas**

Para la limpieza de este tipo de filtro, en el caso de los automáticos se debe lavar cada unidad, se utiliza agua filtrada que previamente ha pasado por otra unidad adyacente. El flujo se hace en sentido inverso, un mecanismo automático separa las anillas, por lo cual, las impurezas se eliminan fácilmente, reduciendo significativamente el volumen de agua utilizado en retrolavado. El retrolavado puede ser automatizado por tiempo (limpieza cada una determinada cantidad de minutos) o por diferencia de presión. El retrolavado comienza cuando las impurezas aumentan la pérdida de carga del filtro, más allá del rango permitido.

En el caso de utilizar el tiempo como parámetro para determinar el retrolavado, se sugiere medir el tiempo que transcurre entre un retrolavado y cuando se alcanza el nivel máximo de pérdida de presión. El tiempo promedio de tres lavados consecutivos constituye el valor a utilizar para programar el programador electrónico.

Las ventajas de este sistema de filtros en relación al filtro de grava son:

- Menor tamaño. Para una misma capacidad de filtrado, el tamaño de un sistema de anillas es menor a dos o tres unidades de grava. Esto reduce significativamente el tamaño de la sala destinada a centro de control.
- Poco volumen para el retrolavado. Filtros de anillas requieren para retrolavado entre 10 a 15 % del volumen requerido por un sistema de gravas.

- No requiere de filtro de malla. Filtros de grava deben ir acompañados de filtros de mallas, debido a que no es fácil determinar el número mesh de la grava (tamaño de partículas en suspensión a eliminar). El número mesh es función del tipo de grava y eso puede variar entre sistemas.
- Fácil mantención. Mantener en buenas condiciones de funcionamiento en sistema de anillas requiere menos trabajo que uno de gravas. Su construcción es en base a materiales sintéticos, que sufren muy poco deterioro en el tiempo.
- La pérdida de presión del sistema durante el proceso de retrolavado es mínimo.

Su limpieza manual es muy sencilla: se abre la carcasa, se separan las anillas y se limpian con un chorro de agua. También existen modelos de filtro con limpieza automática, que se realiza invirtiendo el sentido del flujo en el dispositivo.

- Por temporizadores, en cuyo caso la limpieza se realiza a intervalos de tiempo fijo.
- Por diferencia de presión entre la entrada y salida del filtro.

En el caso de filtros de grava siempre se ejecuta la limpieza por reflujos del agua. Lo mismo sucede en la limpieza automática de filtros de anillas. En el caso de filtros de malla, existen varios procedimientos según los modelos. Entre ellos el de un chorro de agua a fuerte presión, que, partiendo de una pieza giratoria en el interior del elemento filtrante, incide sobre la malla en sentido contrario al del flujo; limpieza por succión sobre la malla; accionamiento de un cepillo que frota la malla, etc.

Este es el tipo de filtro utilizado en la unidad demostrativa, básicamente por contar con agua cuya fuente es un pozo subterráneo, y la calidad de ésta desde el punto de vista de los sólidos en suspensión es muy baja.

## 8.5. MANTENCIÓN DE LA RED DE RIEGO

### Lavado de la red de riego:

La obturación de emisores es un riesgo inherente a las características de fabricación de los mismos, y a la calidad de agua utilizada. La primera barrera a las impurezas y contaminantes que producen taponamiento de emisores es un buen sistema de filtrado, el que debe ir acompañado, necesariamente, de un procedimiento de limpieza de la red, de manera constante.

Algunos compuestos disueltos en el agua de riego pueden precipitar debido a variaciones de presión, temperatura, pH, potencial de oxido-reducción o cambios de concentración relativa de otros compuestos en la solución. El tamaño de las partículas precipitadas pueden alcanzar un tamaño tal que obstruyen los laberintos del emisor, provocando el taponamiento y, por consiguiente, una disminución de la tasa de aplicación de agua en el lugar afectado.

Si el taponamiento es generalizado, puede ser necesario el reemplazo de todos los emisores para recuperar el buen rendimiento del sistema de riego.

Conocer los componentes disueltos en el agua para riego es necesario para cuantificar el riesgo de formación de precipitados y posibles taponamientos de emisores. Un análisis químico del agua es fundamental para determinar la presencia de los diferentes compuestos y poder tomar las medidas o acciones que contribuyan a reducir o eliminar la formación de precipitados.



**Figura 42. Bicarbonato de calcio**

El taponamiento de emisores es provocado por la precipitación de uno o más de los siguientes compuestos: carbonatos de calcio y magnesio, sulfato de calcio, carbonatos, hidróxidos, silicatos y sulfuros de metales pesados, fosfatos, hierro, cobre, zinc y manganeso. Estos compuestos precipitan formando costras, que pueden obstruir parcial o totalmente los pequeños conductos u orificios de los emisores.

Aguas con alto contenido de sólidos totales disueltos y pH superior a 7 tiene un alto potencial para la formación de precipitados. El compuesto que precipita con mayor facilidad es el carbonato de calcio, cuya solubilidad es función del pH del agua y la temperatura. Un incremento en el pH o la temperatura reduce la solubilidad del calcio y, por consiguiente, aumenta la formación de precipitados.



**Figura 43. Ácido Fosfórico**

La adición de ácido al agua de riego tiene como finalidad evitar la formación de precipitados de carbonato de calcio y óxidos de hierro dentro del sistema de riego. La aplicación de ácidos al agua para prevenir el taponamiento no tiene ningún efecto sobre el control de algas u otros tipos de materia de origen orgánico. Un análisis químico del agua es necesario para evaluar la posibilidad de precipitación del carbonato de calcio. Existe un valor de pH crítico bajo el cual se asegura que no habrá precipitación de calcio. El valor del pH crítico está en función del tipo de compuestos disueltos en el agua y su concentración. Recorra a laboratorios de análisis químicos de agua reconocidos, para el envío de su muestra. Se recomienda el uso de ácido fosfórico.

La aplicación del ácido al agua de riego tiene como objetivo bajar el pH a un nivel tal que el riesgo de formación de precipitados sea mínimo. Recorra a sus asesores que le indicarán la cantidad de ácido necesario a aplicar y el tipo de producto.

## Tratamientos con ácido

La aplicación de ácido tiene por objetivo ajustar el pH del agua al pH en equilibrio con la fase sólida del carbonato de calcio, situación deseable para evitar la precipitación del carbonato de calcio dentro del sistema de riego. Los productos a utilizar pueden ser ácidos en diferentes formulaciones y concentraciones o productos químicos especialmente desarrollados para este propósito. Dado el costo de este tipo de productos, es recomendable utilizar ácidos, debido al alto volumen requerido durante toda la temporada de cultivo.

Los tipos de ácidos más comunes en el mercado son sulfúrico, fosfórico, nítrico y clorhídrico. En unidades de volumen, todos ellos tienen diferente poder acidificante.

La variación en la composición del agua dentro de una misma cuenca sugiere efectuar análisis químico con la muestra de agua que se utiliza en el riego y la representatividad de dicha muestra es local. Respecto a la variación de la composición química del agua dentro de una temporada o entre temporadas, ésta no experimenta cambios significativos, por lo tanto, una prueba de titulación puede ser válida para dos o tres años.

Modificar el pH del agua en forma permanente es la condición de trabajo ideal para cualquier sistema de riego presurizado, ya que disminuye notablemente el riesgo de obturaciones.

Durante la operación del sistema, es baja la probabilidad que ocurran cambios físicos y químicos drásticos que promuevan la precipitación de los carbonatos. En el período entre dos riegos, cuando el sistema permanece en reposo, sí es posible observar cambios de temperatura, presión y otros factores que predisponen la precipitación de los carbonatos.

La aplicación de ácidos durante la etapa final del riego es una práctica que produce buenos resultados a un costo relativamente bajo, al disminuir la cantidad de producto utilizado. De esta forma, solo recibe tratamiento el agua que permanece dentro del sistema, entre dos riegos consecutivos.

La aplicación del ácido debe ser efectuada varios minutos antes del término del ciclo de riego, para dar oportunidad a que el agua acidulada alcance los lugares más apartados.



**Figura 44. Cloro en la red**

El agua de riego arrastra en suspensión gran cantidad de microorganismos (algas, bacterias, virus), que por su pequeño tamaño logran traspasar los sistemas de filtración. La presencia de microorganismos es normal debido a los sistemas de conducción utilizados y la necesidad de disponer de estanques acumuladores para asegurar el riego en forma frecuente. Aguas en reposo desarrollan colonias de algas con gran facilidad debido a los nutrientes que poseen disueltos, la alta radiación solar y la presencia de material vegetal y animal. En pozos profundos, cuando el agua es utilizada directamente en el sistema de riego, la presencia de algas y bacterias es mínima. Si el agua pasa previamente por un tranque acumulador, ésta adquiere una carga de materia orgánica significativa.

Sistemas de riego por goteo con poca mantención han perdido efectividad, debido a la presencia de una masa mucilaginosa con aspecto de gelatina, que obstruye los emisores y microaspersores. También se han observado desarrollo de colonias de bacterias en válvulas eléctricas y válvulas de aire que impiden el buen funcionamiento de ellas.

#### **Ácido Hipocloroso:**

El ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) es un buen agente bactericida. Muchos tipos de bacterias y virus son inactivados a concentraciones de cloro residual de 1ppm por 10 a 30 minutos.

A pesar de que las tres fuentes de cloro pueden utilizarse para el control de microorganismos, solamente el hipoclorito de sodio es utilizado en la mantención de sistemas de riego presurizado. El hipoclorito de calcio es un material sólido granulado utilizado fundamentalmente en la mantención de piscinas y el cloro en forma gaseosa en plantas de tratamiento de agua potable. El hipoclorito de sodio es líquido y es el mismo producto utilizado en el lavado de ropa.

**Acidificación del agua:**

Para aumentar la efectividad del proceso de clorinación, es recomendable que el pH de agua sea inferior a 6.5 para garantizar el 90% del HOCl disponible para el control de bacterias y algas. La disminución del pH se consigue aplicando algún tipo de ácido al sistema. Las cantidades a utilizar dependen del tipo de agua, tipo de producto y concentración, es por eso que, una prueba de análisis químico en laboratorio es necesaria.

La aplicación de ácido debe efectuarse previo a la inyección de hipoclorito. Nunca se debe preparar una solución madre con hipoclorito y algún tipo de ácido en forma simultánea. A bajo niveles de pH se produce una reacción química que libera a la atmósfera gas cloro, que puede resultar tóxico para el operador. La aplicación simultánea de cloro y ácido puede ser efectuada con la utilización de dos inyectores, uno para cada compuesto.

**Cantidad de Hipoclorito de sodio a utilizar:**

El objetivo de la cloración es lograr que el agua que permanece dentro del sistema, entre dos riegos consecutivos, contenga un nivel de cloro libre igual o superior a 1 ppm o 1 gramo por m<sup>3</sup>, por varias horas. No todo el cloro que se aplica está disponible para reaccionar con la materia orgánica, ya que parte de él reacciona con los compuestos disueltos en el agua de riego; otra parte reacciona con algunos componentes metálicos o plásticos del sistema y otra con la materia orgánica presente en el agua. La cantidad de cloro que queda disponible para el control de algas y bacterias es función de las condiciones locales (calidad de agua, componentes del sistema, etc.), por lo tanto se debe adicionar una cantidad extra. Si se desea 1 ppm de cloro libre, quizás sea necesario aplicar 3 ppm ya que 2 ppm se perderán por diferentes vías. La cantidad de hipoclorito extra a aplicar depende de las condiciones propias del lugar y sólo es posible determinarla por pruebas en terreno.

La prueba en terreno consiste en aplicar diferentes cantidades de hipoclorito expresadas en unidades de cloro libre (ppm). En las laterales de riego ubicadas más distantes del punto de inyección, se mide el cloro libre residual después que el producto se ha distribuido por todo el sistema. El tratamiento óptimo es aquel que asegura un nivel de 1 ppm en terminales de laterales. Concentraciones inferiores a 1 ppm de cloro libre pueden resultar ineficientes para el control de algas y bacterias. Concentraciones mayores implican un mayor costo sin producir un beneficio adicional, ésto involucra la utilización de una mayor cantidad de producto y por consiguiente, mayor costo.

Existen en el mercado, test colorimétricos que pueden ser utilizados en el campo para determinar cloro libre residual en muestras de agua. El test se conoce como DPD (N,N-Dietil-P-Fenilendianina). El test que se utilizan en piscinas no sirve para pruebas al nivel de sistemas de riego ya que proporcionan información de cloro total (cloro libre más el que ha reaccionado con la materia orgánica y los componentes solubles en el agua de riego). El test consiste en adicionar el reactivo DPD a una muestra de agua. Después de transcurrido unos segundos, la solución adquiere un color determinado que se compara con una tabla de colores de referencia. El método es suficientemente preciso como para determinar la cantidad exacta de hipoclorito de sodio a utilizar en el lavado de tuberías y laterales.



Figura 45. Equipo para monitoreo de cloro libre

Se recomienda la siguiente metodología para la inyección de cloro al sistema de riego.

1. Medición del pH del agua. Obtenga una muestra de agua entre la bomba y la válvula de compuerta. Utilice un instrumento apropiado para ello. Asegúrese que éste sea inferior a 7,5. Niveles de pH superiores a 7,5 requieren una mayor aplicación de producto.
2. Retrolavado de filtros. Con el sistema de riego funcionando normalmente, retrolavar los filtros de grava. Esto aumenta la efectividad del ácido hipocloroso, al reducir drásticamente la carga de materia orgánica presente en los filtros. Una vez concluida esta operación, permitir que el sistema recupere la presión normal de trabajo.
3. Determine la cantidad de hipoclorito a aplicar en base a un tiempo de inyección de 90 minutos. Esta cantidad depende del caudal de trabajo del sistema.
4. Determinar el caudal en el medidor de flujo (Q). Si no es posible disponer de un medidor de flujo, utilizar valor de descarga nominal de la bomba.  
Se sugiere iniciar el tratamiento con una concentración de cloro libre de 20 ppm.
5. Medir el contenido de cloro libre en la lateral más alejada del punto de inyección.
6. Realizar este procedimiento a intervalos de 5 minutos. Una vez alcanzada una concentración de 1 ppm, detener la inyección.
7. Si no es posible alcanzar un valor de 1 ppm de cloro libre después de 30 minutos de iniciado el proceso y se ha determinado una concentración de 3 ppm a la salida de los filtros, el contenido de materia orgánica del sistema es extremadamente alto. En este caso se debe lavar los laterales y las tuberías matrices y repetir nuevamente el proceso.
8. Después de finalizada la cloración, detener el sistema y esperar al menos ocho horas. Transcurrido este tiempo, se debe hacer funcionar el sistema y lavar tuberías matrices y laterales. Comience por la tubería matriz, prosiga con las submatrices y finalmente los laterales. Si después del proceso queda solución que no fue utilizada, ésta debe eliminarse. No puede guardarla y utilizarla posteriormente, debido a que pierde sus propiedades biocidas.

### **Frecuencia de lavado**

Como regla general, sistemas de riego que utilizan aguas superficiales, deben ser clorados una vez por semana. Sistemas que utilizan aguas de pozo pueden clorarse cada dos o tres.

Estos períodos pueden ser alargados hasta 1 vez por mes, dependiendo de las condiciones de operación de cada sistema.

Si la cloración es realizada en forma frecuente y va acompañada por un lavado de matrices y laterales, no es necesario realizar lavados adicionales. Si la cloración se extiende por mayor tiempo, se debe seleccionar algunos laterales en forma aleatoria (al azar) y hacerles lavado en forma individual. Se debe recolectar el agua del lavado y observar el contenido de sólidos y materia orgánica. Si el contenido en materia orgánica es notorio, repetir todo el proceso de cloración a toda la unidad. Si la presencia de sólidos es importante, lavar las tuberías sin aplicar hipoclorito.

El monitoreo constante de los laterales de riego es una práctica altamente recomendada y es el mecanismo que asegura al agricultor el mejor indicador para evitar problemas de taponamiento de los emisores. La forma correcta de analizar el contenido de impurezas durante el proceso de lavado de laterales es filtrar el primer chorro con un saco harinero, éste actuará como filtro de las partículas orgánicas. La presencia de algas y bacterias produce la formación de pequeños gránulos de color verde oscura, muy fácil de apreciar a simple vista.

El ácido hipocloroso reacciona con la materia orgánica inactivándola, no la elimina. Los residuos pierden la capacidad de multiplicarse, pero pueden formar sustancias mucilaginosas, con capacidad para obstruir los emisores.

## **Cuidados**

El cloro es un elemento peligroso, por lo tanto, se debe seguir rigurosamente las instrucciones del fabricante en cuanto a la manipulación y almacenaje del producto. El operador debe proteger convenientemente sus ojos, manos y piel expuesta al aire utilizando antiparras, guantes de goma, zapatos, etc.

Debe evitarse el contacto del producto con cualquier tipo de fertilizantes. La mezcla puede provocar una reacción química que libera calor en forma violenta, con riesgo de explosión. Nunca aplicar hipoclorito en forma simultánea con algún tipo de fertilizantes.

El hipoclorito de sodio se comercializa en estanques de plástico de capacidad variable (550 litros). El cloro se descompone rápidamente con la luz directa o cuando se expone a altas temperaturas ambientales o aire. El producto debe ser almacenado en recipientes opacos, de color blanco de preferencia y a la sombra. La bodega debe poseer ventilación para evitar la acumulación de gases tóxicos. No exponer el producto al aire por períodos de tiempo prolongados.

## Limpieza de tuberías laterales, secundarias y matriz

El lavado de laterales consiste en abrir la lateral durante la normal operación del sistema de riego. El agua debe llevar una velocidad suficiente como para remover todas las partículas depositadas en ella, utilizar la Tabla como referencia. En general, los terminales de las laterales no poseen una válvula especial para proceder al lavado. La lateral se dobla en el extremo y se utiliza una abrazadera confeccionada con un trozo de PVC o polietileno para asegurar el dobléz.

El retrolavado se realiza retirando la abrazadera, se procede a enderezar la lateral y se deja escurrir el agua hasta que ésta salga limpia). La duración del proceso es función de la velocidad del flujo. Mientras mayor es el flujo, menor es el tiempo de lavado. Es común que la duración no supere 1 a 2 minutos por lateral. Una vez concluido el proceso, se reinstala la abrazadera y se prosigue con otra lateral.

El problema más común observado al doblar la lateral y usar una abrazadera como elemento de amarre es que, en sucesivas sesiones de lavado, la manguera sufre un desgaste a lo largo del pliegue o dobléz. La manguera se rompe y comienza a perder agua en forma de un pequeño chorro que puede alcanzar el follaje. Cuando esto ocurre, se debe cortar la parte afectada y volver a hacer otro dobléz. Con esto, se va perdiendo manguera, que después de un tiempo debe ser reemplazada por una copla y un nuevo trozo de manguera. En el mercado existen unas pequeñas válvulas de polietileno, que instaladas al final de la lateral, facilitan el lavado y evitan el deterioro de la lateral.



Figura 46. Tapa lateral

El lavado de laterales también puede realizarse en forma automática, instalando válvulas de lavado al final de cada lateral. Las válvulas de lavado permanecen abiertas a

presiones inferiores a 0,5 m.c.a. Inmediatamente después de iniciar el funcionamiento del equipo comienza el llenado de las laterales. Por un tiempo aproximado de 20 segundos, la válvula permanece abierta permitiendo la salida de un reducido volumen de agua (inferior a 1 litro), suficiente para eliminar las impurezas acumuladas durante el día anterior. También, al terminar el riego, la presión en la lateral disminuye desde el punto de trabajo ( 8 a 12 m.c.a) a presión atmosférica. Alcanzado la presión umbral de apertura de la válvula, ésta se abre y drena completamente, arrastrando hacia fuera el material acumulado durante la jornada de trabajo. Este proceso se repite diariamente, manteniendo limpias las laterales en forma permanente.

A pesar que esta labor de mantención parece muy sencilla, comúnmente se ve dificultada, debido a que las laterales se encuentran amarradas a estacas. La dificultad de efectuar un lavado en forma regular puede poner en riesgo la eficiencia del sistema.

En invernaderos, el lavado de laterales se ve dificultado por la acumulación de agua y barro. En estas condiciones es recomendable conectar todas las salidas de las laterales a una tubería de drenaje con salida hacia el exterior del invernadero. Una válvula de acción manual o eléctrica controla la duración del proceso. La tubería de lavado puede ser instalada a una profundidad de 5 cm. El número de laterales a lavar en forma simultánea está en función del diámetro de la tubería utilizada.

### **Observación del tipo de impurezas**

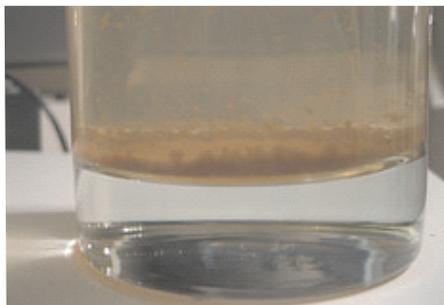
Es muy importante efectuar una observación visual del tipo y cantidad de material extraído de la lateral. Cuatro tipos de compuestos son comunes de observar:

- Partículas de pequeño diámetro como limos y arcillas, que confieren alto grado de turbidez al agua.
- Algas y bacterias, que se presentan como gránulos de color verde oscuro.
- Partículas de cuarzo provenientes del sistema de filtros.

### **Precipitados originados por la reacción de compuestos disueltos en el agua.**

La composición del material permite tomar decisiones respecto al manejo del equipo. Aguas muy turbias sugieren realizar lavado de laterales en forma más frecuente o modificar el sistema de filtros. La presencia de materia orgánica puede indicar la necesidad de aplicar hipoclorito u otro compuesto químico, para reducir el nivel de

algas y bacterias en las laterales de riego. La presencia de partículas de arena en las laterales ubicadas cercas del centro de control puede indicar una falla en el sistema de filtros. La presencia de precipitados de tipo químico puede sugerir la necesidad de inyectar ácido o cambiar los productos utilizados en la fertirrigación.



**Figura 47. Sedimentos en agua de riego**

Para el muestreo del agua, utilice un balde de plástico de color blanco para coleccionar el agua del lavado, tan pronto como el proceso comienza. El color blanco favorece el contraste entre el agua turbia y las paredes del balde. También se debe filtrar el agua con un trozo de paño del tipo «saco harinero», para determinar la presencia de algas, bacterias, partículas de cuarzo y precipitados.

### **Frecuencia de lavado del sistema**

La frecuencia de lavado depende de la cantidad de sedimentos que ingresan al sistema o se generan dentro de él. En algunos sistemas, la calidad del agua es muy buena y sólo una pequeña cantidad de sedimento se deposita en las laterales (agua de pozo usada directamente en el riego). En estos casos, lavados cada tres o cuatro semanas pueden ser suficientes. Sistemas que utilizan aguas de peor calidad deben ser lavados más frecuentemente (cada una o dos semanas). Sistemas que utilizan agua de mala calidad deben ser lavados cada dos o tres días; en estos casos, se hace necesario usar sistemas automáticos para facilitar la operación. La forma más fácil de determinar la frecuencia de lavado es realizar pruebas en terreno, ya que la acumulación de sedimentos es función de la calidad de la fuente de agua, el grado de eficiencia de los filtros y las prácticas de manejo. La forma de realizar la prueba es seleccionar grupos de 10 laterales de un mismo sector de riego y proceder a lavarlas con frecuencia de 1, 2, 3 y 4 semanas. La prueba consiste en lavar las laterales y observar el grado de turbidez del agua, la presencia de algas y hongos y grava de cuarzo. Se debe adoptar aquella

frecuencia que proporcione los mejores resultados desde el punto de vista seguridad del equipo, consumo de agua, uso de mano de obra y deterioro de las laterales.

En sistemas de riego instalados en lugares con fuerte pendiente, las pruebas deben ser efectuadas en aquellos cuarteles o sectores de riego donde la presión sea menor, ya que éstos son los más propensos a presentar problemas de taponamiento. El lavado de laterales con mucha presión es fácil, debido a que la fuerza del agua arrastrará con mucha facilidad los sedimentos.

El lavado debe ser programado con la finalidad de realizarlo en un solo día laboral. Durante el proceso se producen fluctuaciones de presión que alteran la normal intensidad de precipitación del equipo y el cultivo recibe menos agua de lo deseado. La menor cantidad de agua aplicada al cultivo se recupera en los días siguientes. El principal problema de realizarlo «de a poco» es lo difícil de cuantificar la menor cantidad de agua aplicada al cultivo.

Sistemas de riego que se abastecen desde estanques, necesitan lavados en laterales más frecuentes, debido a la elevada acumulación de algas y materia orgánica en suspensión. En estos casos, el lavado de laterales debe hacerse muy frecuente (día por medio) y complementar el trabajo con la aplicación regular de sulfato de cobre en dosificación de 2 a 5 ppm.

Instalaciones de riego localizados en frutales de hoja caduca en donde no es necesario el riego por varios meses, es conveniente hacer funcionar el sistema cada 4 a 6 semanas y lavar los laterales para evitar el desarrollo de colonias de algas que pueden contribuir al taponamiento del sistema.

### **Duración del lavado**

El lavado debe durar hasta que el chorro que fluye por la lateral adquiera las características de limpieza con los cuales trabaja normalmente el equipo. Esto ocurre en poco tiempo (alrededor de 1 minuto) debido a que las impurezas tienden a acumularse en el tercio final de la tubería.

Sistemas de riego que utilizan emisores autocompensados presentarán diferentes presiones de trabajo, dependiendo de la posición de la lateral respecto a la fuente de presión. En aquellos sectores con buena presión, la duración del lavado puede ser bastante menor que en sectores con presiones más bajas.

Otro factor es el número de laterales a lavar en forma simultánea. A mayor número de laterales abiertas, menor es la presión dentro del sistema, por consiguiente la velocidad de flujo se reduce. Es muy difícil lograr velocidades mínimas de flujo abriendo todas las laterales en forma simultánea. Para resolver esta dificultad, es necesario abrir las laterales en grupos de 10, 20 ó 30 en forma simultánea, dependiendo de la presión de trabajo y el caudal proporcionado por la bomba. En sectores muy deficitarios de presión, el lavado deberá ser efectuado por lateral en forma individual.

En aquellos sectores que presentan velocidades de flujo menores a 0,3 m/s, efectuar las modificaciones en el diseño u operación para lograr mayor presión. Los pasos a seguir son:

- Cambio de diámetro de tuberías matrices
- Disminuir el tamaño de los sectores de riego
- Aumentar la presión de la bomba
- Aumentar el área filtrante del sistema de filtros
- Aumento del diámetro de válvulas

Estas modificaciones pueden ser implementadas en forma individual o más de una a la vez, dependiendo de las circunstancias.

### **Orden en el lavado de laterales y matrices**

Primera prioridad tiene el lavado de las tuberías matrices, después sub-matrices y terciarias y finalmente las laterales de riego. Con este procedimiento se asegura la eliminación de todos los residuos acumulados al interior del sistema de tuberías y mangueras.



**Figura 48.** Los últimos son los laterales durante el proceso de lavado de la red

Para un lavado efectivo, la velocidad de flujo en laterales debe ser 0,3 m/s. Debido que en terreno es difícil medir las velocidades, en la Tabla 14 se muestran los caudales que producirán esas velocidades en mangueras de polietileno. Estos caudales deben ser duplicados en sistemas de riego por microaspersión, en orden a eliminar las partículas de mayor tamaño.

**Tabla 14. Caudales mínimos de lavado en laterales**

Diámetro externo Mm	Caudal mínimo l/s
12	1,5
16	2,5
20	3,6

Tuberías matrices trabajan generalmente en el rango de velocidades de 1,3 a 1,7 m/s. Con estas velocidades es muy difícil que partículas pequeñas logren decantar en el fondo de las tuberías. En el proceso de instalación, es común que arenas, pequeñas piedras y restos de viruta de PVC queden dentro del sistema. Previo a la puesta en marcha, es necesario lavar las cañerías para extraer todo este material atrapado al interior de ellas, por lo tanto, se recomienda velocidades de flujo de 1,0 m/s como mínimo. Para lograrlo, es necesario que la válvula instalada al final de la tubería matriz tenga la capacidad suficiente como para lograr esta velocidad de flujo al interior de la tubería.

Por economía, en algunos proyectos se instalan válvulas que resultan de diámetro insuficiente como para lograr las velocidades de flujo deseadas. En la Tabla 15 se presentan los rangos de caudales para diversos diámetros de válvulas, considerando descarga a la atmósfera.

**Tabla 15. Rango de caudales válvulas de tipo compuerta descarga en la atmósfera**

Diámetro válvula	Caudales l/s
1"	1,0 - 1,6
1 ¼"	1,6 - 2,4
1 ½"	2,4 - 3,4
2"	3,4 - 6,0
2 ½"	6,0 - 9,1
3"	9,1 - 13,7
4"	13,7 - 24,5
5"	24,5 - 38,0

## Otros Componentes

En una instalación de riego presurizado hay otros componentes como canastillos o trampas de basuras que colaboran en el pre-tratamiento del agua. Un pre-tratamiento efectivo ayuda a que los filtros no se saturen rápidamente y así permiten un tiempo de operación expedita por mayor tiempo.



Figura 49. Canastillo

El canastillo es una malla que se coloca en el extremo del tubo de succión para evitar el paso de partículas orgánicas mayores dentro del sistema. Esto comprende peces, restos de hojas, ramillas, etc. El canastillo debe ser revisado periódicamente, ya que una obstrucción causada por plástico o papel puede reducir significativamente el caudal de la bomba, por consiguiente, problemas en la operación del equipo y eventualmente cavitación.

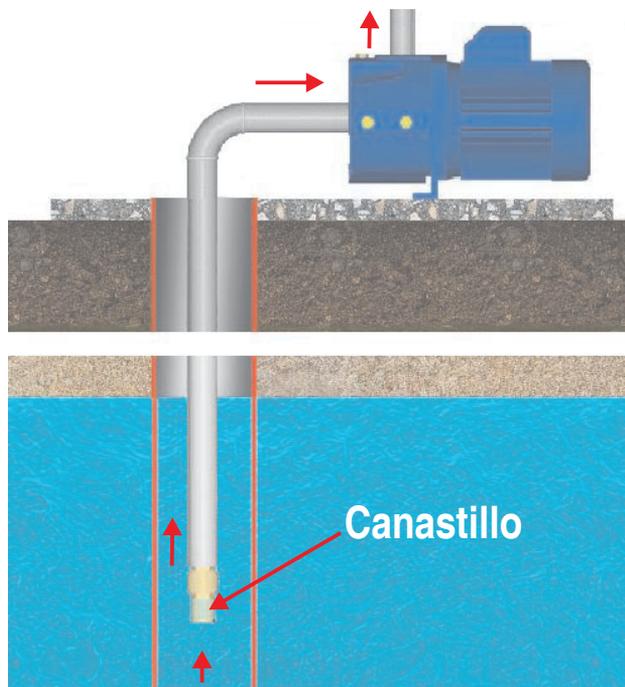


Figura 50. Canastillo en tubería de succión, unido a la válvula de pie

[www.cnr.gob.cl](http://www.cnr.gob.cl)



MÁS Y MEJOR  
RIEGO PARA CHILE

yo  
cuido  
el agua